

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2023-117

(13) Druh dokumentu: A3

(51) Int. Cl.:

G01B 21/04 (2006.01)
G01B 5/004 (2006.01)

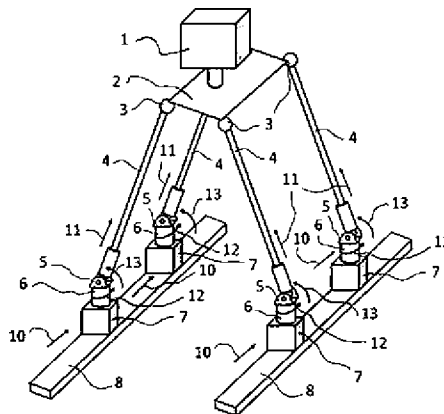
(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: 23.03.2023
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: 14.02.2024
(Věstník č. 7/2024)

- (71) Přihlašovatel:
České vysoké učení technické v Praze, Praha 6,
Dejvice, CZ
INOMECH s.r.o., Tábor, CZ
- (72) Původce:
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc., Praha 4,
Komořany, CZ
Ing. Václav Bauma, CSc., Praha 5, Hlubočepy, CZ
Ing. František Petruš, Sezimovo Ústí, CZ
Ing. Roman Šmíd, Tábor, CZ
- (74) Zástupce:
Ing. Karel Novotný, patentový zástupce, Žufanova
1099/2, 163 00 Praha 6, Řepy



- (54) Název přihlášky vynálezu:
Způsob a zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru

- (57) Anotace:
Řešení se týká způsobu a zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru využívající alespoň tři výsuvná ramena uložená jedním koncem pohyblivě k rámu na alespoň dvou posuvných vedeních a druhým koncem kloubově spojené k nosné platformě pevně spojené s měřeným nebo kalibrovaným tělesem, přičemž při pohybu výsuvných ramen na posuvných vedeních je snímána vzájemná poloha jednotlivých členů alespoň tří výsuvných ramen a na základě změřených údajů je vyhodnocena poloha měřeného tělesa, nebo provedena jeho kalibrace a jeho podstata spočívá v tom, že alespoň jedno rameno je při pevné poloze nosné platformy pohyblivé do více poloh alespoň v jednom stupni volnosti, a je umísťováno do alespoň dvou poloh, v těchto polohách jsou snímány veličiny odpovídající vzájemné poloze jednotlivých členů zařízení a na jejich podkladě je stanovena poloha tělesa v prostoru nebo jeho kalibrace.

Způsob a zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru

Oblast techniky

5

Vynález se týká způsobu a zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru využívající alespoň tři výsuvná ramena uložená jedním koncem pohyblivě k rámu na alespoň dvou posuvných vedeních a druhým koncem kloubově spojené k nosné platformě pevně spojené s měřeným nebo kalibrovaným tělesem, přičemž při pohybu výsuvných ramen na posuvných vedeních je snímána vzájemná poloha jednotlivých členů alespoň tří výsuvných ramen a na základě změřených údajů je vyhodnocena poloha měřeného tělesa, nebo provedena jeho kalibrace.

15

Dosavadní stav techniky

Určení polohy nebo kalibraci bodu, tělesa nebo útvaru v prostoru je důležitým parametrem v mnoha oblastech techniky, např. v oblasti robotů, obráběcích strojů, ve stavebnictví apod.

20

Metody měření, případně kalibrace polohy bodu, tělesa nebo útvaru (dále budou tyto tři pojmy nahrazeny jedním pojmem a to těleso), v prostoru je založeno na určení jedné nebo několika vzdáleností mezi jedním nebo více délkovými měřicími systémy a referenčním elementem uspořádaným na objektu, případně jsou měřeny úhly mezi spojnicemi měřicí systém-referenční element vzájemně mezi sebou nebo vzhledem k základně (rámu) a pod. Stanovení polohy tělesa je pak prováděno řešením geometrických závislostí mezi změřenými veličinami např. triangulací nebo trigonometrií.

25

30

Poloha bodu je dána třemi kartézskými souřadnicemi, poloha tělesa je dána šesti souřadnicemi (tři polohové a tři úhlové) a poloha útvaru může být dána různým počtem souřadnic od jedné po mnoho. Útvarem jsou míněna, např. vzájemně vázaná tělesa v prostoru.

Při dosavadních metodách měření polohy objektu je měřeno tolik veličin, kolik stupňů volnosti má měřený objekt v prostoru, tj. kolik souřadnic určení polohy objektu, bodu, tělesa nebo útvaru, v prostoru představuje.

35

V důsledky měření více veličin, kdy každá prakticky vykazuje jistou chybu, je pak výsledná přesnost určení polohy objektu v důsledku sčítání chyb měření podstatně menší než při měření jedné vzdálenosti nebo jednoho úhlu.

40

Další nevýhodou těchto určení poloh objektu v prostoru je nákladná příprava měření daná nutností velmi přesné výroby, kalibrace a justáže měřících zařízení a následně ve zdlouhavé přípravě samotného měření související v ustavení výchozích poloh měření.

45

Tuto nevýhodu částečně odstraňuje při měření polohy objektu v prostoru řešení spočívající v současném měření vzdálenosti měřeného objektu od čtyř laserových interferometrů umístěných v jedné rovině a následném řešení pře určených rovnic nejen pro stanovení polohy objektu v prostoru, ale i pro výchozí vzdálenosti a polohy laserových interferometrů, navíc lze určit jen polohu bodu v prostoru, nikoliv orientaci tělesa. I zde však výsledná přesnost určení polohy objektu není dostatečná a je nižší než přesnost měření výchozích vzdáleností od jednotlivých laserových interferometrů.

50

Současné metody určení polohy objektu jsou převážně založeny na měření vzdáleností, nejčastěji laserovým interferometrem, kdy jsou stanovovány souřadnice jednotlivých bodů plochy měřeného tělesa. Těmito měřeními lze stanovit vzdálenost bodů nebo délkové či úhlové odchylky, nelze však současně stanovit polohu bodu v prostoru.

55

Byl proto vyvinut laserový sledovač (laser tracker), který vedle měření vzdálenosti laserovým interferometrem od reflektoru také určuje úhlovou polohu jeho paprsku a ze sférických souřadnic určuje polohu bodu reflektoru v prostoru. Problémem tohoto zařízení je, že dosahuje menší
 5 přesnosti určení polohy bodu reflektoru v prostoru oproti přesnostem dílčích měření z důvodu sčítání chyb měření. Další nevýhodou je, že lze současně určit jen tři stupně volnosti polohy bodu v prostoru, nikoli šest stupňů volnosti polohy tělesa v prostoru.

Jiným způsobem měření jsou měření založená na optických zobrazeních snímaných kamerou nebo světločivným prvkem. Jejich problémem je menší přesnost než u měření laserovým interferometrem a opět nemožnost současně určit šest stupňů volnosti polohy tělesa v prostoru.

Dalším známým zařízením pro měření nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru je užití souřadnicového měřicího stroje. Jeho problémem je opět nemožnost současně určit šest stupňů
 15 volnosti polohy tělesa v prostoru. Dalšími nevýhodami jsou špatně přístupný pracovní prostor souřadnicového měřicího stroje, nutnost opatřit ho řízenými pohony a jeho velká váha a rozměry.

Byly proto vyvinuty postupy pro kalibraci polohy tělesa v prostoru založené na měření polohy předem vyrobených artefaktů v prostoru, např. ve tvaru přesných koulí na nosniku nebo
 20 čtyřstěnu. Problémem je opět nemožnost současně určit šest stupňů volnosti polohy tělesa v prostoru a pokrytí celého pracovního prostoru.

Dalším známým zařízením (tzv. ballbar) pro měření nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru je využití měřicích ramen složených z více kloubově spojených členů, přičemž alespoň jeden
 25 z těchto členů je suvným členem. Rameno je pak jedním koncem připojeno k platformě a druhým koncem otočně k rámu, přičemž při připojení ramene k měřenému či kalibrovanému tělesu je těleso vedeno s ramenem po kruhové dráze, přičemž během tohoto pohybu jsou měřeny vzdálenosti tělesa od středu otáčení a na základě těchto délkových měření je stanovena poloha tělesa v prostoru nebo provedena jeho kalibrace. Obdobná známá zařízení s využitím takovýchto
 30 měřicích ramen využívají stejného principu, s tím rozdílem, že tělesem není pohybováno po kružnici.

Pro zlepšení přesnosti měření a pro odstranění potřeby úvodní náročné kalibrace měřicího zařízení byla vyvinuta zařízení, která mají větší počet čidel než stupňů volnosti. Jde o patentové
 35 dokumenty: CZ 303752 B6 o názvu „Způsob a zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru“; EP 1968773 B1 o názvu „Způsob a zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru“, CZ PV 2010-178 A3 o názvu „Způsob a zařízení pro redundantní optické měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru“, a CZ PV 2013-179 A3 o názvu „Způsob a zařízení pro redundantní optické měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru“. Řešení
 40 podle CZ 303752 B6 má vynikající vlastnosti v přesnosti měření, ale má omezený pracovní prostor. Rozšíření pracovního prostoru dosáhlo řešení podle CZ PV 2010-178 A3, který kráčí v pracovním prostoru, ale s každým krokem se připočte chyba měření. Rozšíření pracovního prostoru při zachování výhodných vlastností měření dosáhlo řešení podle CZ PV 2013-179 A3, který ale vyžaduje užití nákladného laserového sledovače.

Cílem tohoto vynálezu je zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru, kterým by se dosáhlo stanovení vyšší přesnosti stanovení polohy měřeného objektu ve zvětšeném pracovním prostoru, přičemž samotné měření příslušných veličin by se zjednodušilo.

Podstata vynálezu

Podstata způsobu a/nebo kalibrace polohy tělesa v prostoru využívající alespoň tři výsuvná ramena uložená jedním koncem pohyblivě k rámu na alespoň dvou posuvných vedeních
 55 a druhým koncem kloubově spojené k nosné platformě pevně spojené s měřeným nebo

kalibrovaným tělesem, přičemž při pohybu výsuvných ramen na posuvných vedeních je snímána vzájemná poloha jednotlivých členů alespoň tří výsuvných ramen a na základě změřených údajů je vyhodnocena poloha měřeného tělesa, nebo provedena jeho kalibrace podle tohoto vynálezu spočívá v tom, že alespoň jedno rameno je při pevné poloze nosné platformy pohyblivé do více
5 poloh alespoň v jednom stupni volnosti, a je umístováno do alespoň dvou poloh, v těchto polohách jsou snímány veličiny odpovídající vzájemné poloze jednotlivých členů zařízení a na jejich podkladě je stanovena poloha tělesa v prostoru nebo jeho kalibrace.

Pohyb platformy se provede ve dvou fázích, v první fázi a následně ve druhé fázi, přičemž počet
10 měřených veličin při pohybu platformy s měřeným nebo kalibrovaným tělesem jak v první, tak ve druhé fázi je alespoň o jeden vyšší než počet stupňů volnosti platformy.

Alespoň jedno měření během pohybu platformy s měřeným nebo kalibrovaným tělesem udává
15 pojezd vozíku a výsuv výsuvné nohy.

Kinematická struktura alespoň jednoho pohyblivého ramene umožňuje současně určit více než
jeden stupeň volnosti objektu v prostoru.

Podstata zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru, sestávající z alespoň dvou
20 pohyblivých ramen, které jsou jedním koncem spojeny s rámem a druhým koncem s nosnou platformou určenou pro připojení na měřené nebo kalibrované těleso, přičemž zařízení je opatřeno čidly pro snímání vzájemné polohy jednotlivých členů zařízení, přičemž počet čidel je větší než počet stupňů volnosti zařízení podle tohoto vynálezu spočívá v tom, že pohyblivá
25 ramena jsou představována výsuvnými nohami, které jsou jedním koncem kloubově spojena s vozíkem a druhým koncem s nosnou platformou, přičemž vozíky jsou přímo nebo přes pohyblivou platformu vedeny v posuvných vedeních.

Pohyblivá platforma může být opatřena bočními vedeními pro uložení vozíků.

Výhodou způsobu a zařízení podle vynálezu je pře určené měření, které vede jednak ke zvýšené
30 přesnosti měření a jednak k možnosti samokalibrace. Pro jednu polohu tělesa a platformy je možné mít velké množství poloh ramen daných polohami vozíků a výsuvných nohou s měřeními. Další výhodou popisovaného zařízení je velký pracovní prostor daný možnou velkou délkou posuvných vedení.

35

Objasnění výkresů

Na přiložených obrázcích je schematicky znázorněno zařízení pro měření polohy tělesa
40 v prostoru, kde:

obr. 1 znázorňuje zařízení podle vynálezu;

obr. 2 a obr. 3 znázorňují další možné varianty zařízení podle vynálezu;

45

obr. 4 znázorňuje zařízení z obr. 1 s vyznačením posunu jedné z výsuvných noh; a

obr. 5 znázorňuje alternativní konstrukční uspořádání zařízení z obr. 1.

50

Příklady uskutečnění vynálezu

Podle obr. 1 měřicí zařízení sestává ze dvou rovnoběžných posuvných vedení 8 na rámu, na nichž
55 pojíždějí čtyři vozíky 7 s vlastními pohony, po dvou na každém posuvném vedení 8. Na každém vozíku 7 je na rotačním kloubu 6 pro azimut a rotačním kloubu pro 5 pro elevaci upevněna

výsuvná noha 4. Výsuvná noha 4 je na svém konci přes kulový kloub 3 pohyblivě připojena k platformě 2. Platforma 2 je pevně spojena – uchopena úchopnou hlavici robota nebo sklíčidlem obráběcího stroje, které obecně tvoří měřené těleso 1. Výsuvná noha 4 spolu s vozíkem 7 na posuvném vedení 8 tvoří jedno rameno měřicího zařízení.

Výsuvná noha 4 s vozíkem 7 má vůči posuvným vedením 8 na rámu čtyři stupně volnosti, což je o jeden více, než je třeba pro dosažení libovolné polohy kulového kloubu 3.

Pomocí posuvných pohonů jsou vozíky 7 umísťovány na posuvných vedeních 8 v řadě poloh a je měřen posuv 10 těchto vozíků 7. V každé poloze je pro daný vozík 7 měřena jeho vzdálenost od platformy 2 pomocí měření výsuvu 11 výsuvných nohou 4 opatřených délkovým čidlem. Dále může být měřena elevace 13 v rotačním kloubu 5 elevace a/nebo azimut 12 v rotačním kloubu 6 azimutu. Pro tato měření jsou příslušné rotační klouby 5 a 6 vybaveny čidly rotačního pohybu.

V omezené variantě měření se měří jen posuv 10 a výsuv 11. V základní variantě měření se měří posuv 10, výsuv 11 a elevace 13. V pokročilé variantě měření se měří posuv 10, výsuv 11, elevace 13 a azimut 12.

Z takto naměřených hodnot v mnoha polohách všech vozíků 7 je z vazbových podmínek vzájemné polohy vozíků 7 a platformy 2 a konstantních vzdáleností kulových kloubů 3 na platformě 2 určena poloha a natočení měřeného tělesa 1, které například tvoří koncový efektor robota nebo sklíčidlo obráběcího stroje. Z řady poloh koncového efektoru robota nebo sklíčidla obráběcího stroje je možné robot nebo obráběcí stroj kalibrovat.

Velkou výhodou je, že počet poloh vozíků 7 může být významně větší než nutný počet pro výpočet polohy platformy 2 a tedy měřeného tělesa 1, ke kterému je platforma pevně připevněna. Redundance těchto měření podstatně zvyšuje přesnost měření. Tato výhoda je umožněna řešením výsuvné nohy 4 na posuvném vozíku 7 umožňující více (libovolný) počet měřených poloh výsuvné nohy 4. To je velký rozdíl oproti měřením u zařízení RedCaM, Quatro RedCaM a RedCaMsingle.

Posuvná vedení 8 mohou být s výhodou různoběžná nebo mimoběžná. To je zvláště důležité pro základní variantu měření, pro kterou se zvýší přesnost měření. Posuvná vedení 8 mohou být přímková i křivočará.

Vedle měření polohy tělesa 1 umožňuje zařízení podle obr. 1 provedení samokalibrace podobně jako u zařízení RedCaM, Quatro RedCaM a RedCaMsingle. Pro nějaké těleso 1 nebo několik těles 1 je k tělesu 1 pevně upevněna platforma 2 a pro řadu poloh vozíků 7 jsou provedena měření posuvu 10, výsuvu 11 a úhlů azimutu 12 a elevace 13. Z těchto měření a z podmínek konstantních vzdáleností kulových kloubů 3 na platformě 2 a posuvu vozíků 7 po shodných vedeních 8 je provedena kalibrace měřicího zařízení, tj. jsou určeny vzdálenosti kulových kloubů 3 na platformě 2, vzájemná poloha vedeních 8, poloha rotačních kloubů elevace 5 a azimutu 6 na vozících 7, počáteční hodnoty odměřování čidel posuvů, výsuvů a rotací a případné další rozměry. Po jejich určení je zařízení zkalibrováno a připraveno na měření poloh těles 1.

Měření poloh tělesa 1 se užívá ke kalibraci robota nebo obráběcího stroje z měření jejich mnoha poloh, přičemž každá jejich poloha odpovídá jedné pevné poloze tělesa 1 stroje a popisovanému měření jeho polohy, kde těleso 1 je tvořeno koncovým efektem robota nebo sklíčidlem obráběcího.

Na obr. 2 je znázorněna varianta měřicího zařízení z obr. 1. Zde jsou všechny vozíky 7 upevněny na posuvné platformě 9, která pojíždí po posuvných vedeních 8. Posuv 10 každého vozíku 7 je zajištěn posuvem 10 posuvné platformy 9. Nejdříve je posuvná platforma 9 polohována pro první vozík 7, pak pro druhý vozík 7, třetí a čtvrtý. Je možné realizovat omezenou, základní nebo

pokročilou variantu měření. Pro variantu na obr. 2 může být jen jedno posuvné vedení 8.

Na obr. 3 je znázorněna varianta měřicího zařízení z obr. 2. Vozíky 7 jsou umístěny na bočních vedeních 14 na posuvné platformě 9. Jejich boční posuv 15 je měřen. Možnost posuvu vozíků 7 do boku mimo osu vedení 8 zvyšuje množství poloh, z nichž je měřena poloha platformy 2. To zvyšuje přesnost měření polohy tělesa 1. Boční posuv 15 může být jen mezi dvěma pevnými polohami se známou vzdáleností bez odměřování polohy.

Na obr. 4 je znázorněn způsob měření z obr. 1. Vozíky 7 jsou při pevné poloze platformy 2 upevněné v tělese 1 polohovány do více poloh, ve kterých jsou prováděna měření. Znázorněno je to vozíkem 7₁, který je přemístěn do další čárkované polohy 7₁⁺, kde je provedeno další měření. To se samozřejmě používá pro všechny vozíky 7 a přemísťování je do mnoha poloh pro každý vozík 7. To je velká výhoda popisovaného měření, protože polohováním vozíků 7 do více poloh se zvyšuje redundanci měření, která tak zvyšuje přesnost výsledného určení polohy platformy 2 a tělesa 1.

Na obr. 5 je ukázka konstrukčního řešení varianty z obr. 1. Není zde znázorněno těleso 1. Je znázorněno konstrukční řešení platformy 2, kulových kloubů 3, výsuvných nohou 4 s výsuvem 11, rotační klouby elevace 5 a rotační klouby azimut 6 upevněné na vozících 7, které pojíždějí po dvou posuvných vedeních 8, a s realizací a měřením jejich posuvu 10. V daném konstrukčním provedení je realizováno jen měření elevace 13 spolu s měřením posuvu 10 a výsuvu 11.

Všechny popsané varianty mohou být kombinovány.

Na obr. 1, obr. 2 a obr. 3 je užito čtyř vozíků 7. Může být užito jen tři vozíků nebo více než čtyř vozíků. Jsou užita dvě posuvná vedení 8, může být užito více posuvných vedení 8 s různým počtem posuvných vozíků 7. Posuvná vedení jsou znázorněna jako přímková a rovnoběžná, ale mohou být přímková a různoběžná nebo mimoběžná, mohou být křivočará. Protože vozíky 7 jsou umístěny do mnoha poloh, tyto polohy mohou být dány v pevných polohách dorazy ve známých vzdálenostech bez potřeby měření jejich polohy. To lze zvláště použít pro boční posuvy.

Výhodou popisovaného způsobu měření a zařízení je, že z kombinace měření poloh středů kulových kloubů 3 umístěných na platformě 2 v pevných polohách je přímo určována poloha a orientace (šest stupňů volnosti) platformy 2 a tělesa 1. Určení polohy středů kulových kloubů 3 lze provést jen z měření posuvů 10 a výsuvů 11, ale pak je výsledná poloha a orientace platformy 2 a tělesa 1 určena s horší přesností než, když se ještě použije měření alespoň elevací 13 nebo i azimutů 12.

Rozměry platformy 2 jsou obvykle menší než vzdálenost posuvných vedení 8.

Poloha vozíků 7 a měření posuvů, výsuvů, elevací a azimutů je realizováno počítačem.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob měření a/nebo kalibrace polohy tělesa v prostoru, využívající alespoň tři výsuvná ramena uložená jedním koncem pohyblivě k rámu na alespoň dvou posuvných vedeních a druhým koncem kloubově spojené k nosné platformě pevně spojené s měřeným nebo kalibrovaným tělesem, přičemž při pohybu výsuvných ramen na posuvných vedeních je snímána vzájemná poloha jednotlivých členů alespoň tří výsuvných ramen a na základě změřených údajů je vyhodnocena poloha měřeného tělesa, nebo provedena jeho kalibrace, **vyznačený tím**, že alespoň jedno rameno je při pevné poloze nosné platformy pohyblivé do více poloh alespoň v jednom stupni volnosti, a je umístováno do alespoň dvou poloh, v těchto polohách jsou snímány veličiny odpovídající vzájemné poloze jednotlivých členů zařízení a na jejich podkladě je stanovena poloha tělesa v prostoru nebo jeho kalibrace.

2. Způsob měření a/nebo kalibrace polohy tělesa v prostoru podle nároku 1, **vyznačený tím**, že pohyb platformy se provede ve dvou fázích, v první fázi a následně ve druhé fázi, přičemž počet měřených veličin při pohybu platformy s měřeným nebo kalibrovaným tělesem jak v první, tak ve druhé fázi je alespoň o jeden vyšší než počet stupňů volnosti platformy.

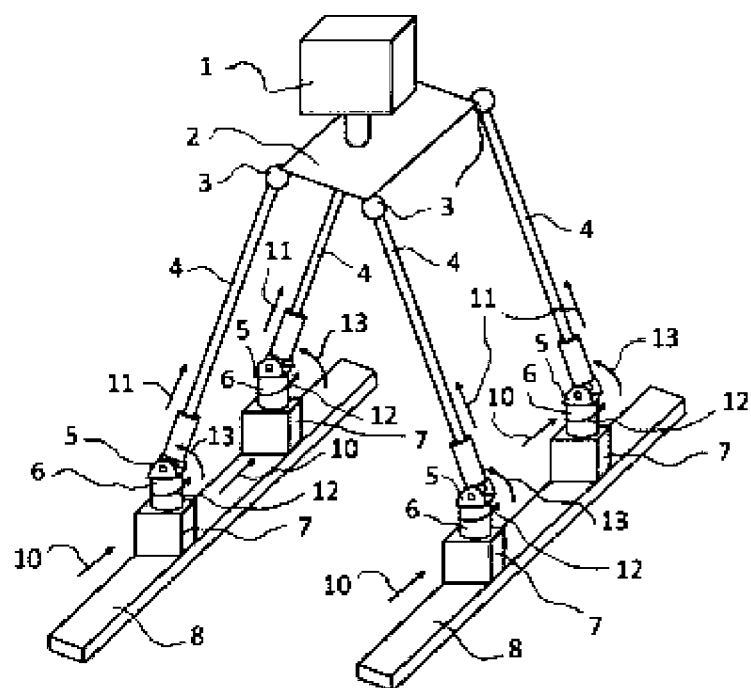
3. Způsob měření a/nebo kalibrace polohy tělesa v prostoru podle nároku 1, **vyznačený tím**, že alespoň jedno měření během pohybu platformy s měřeným nebo kalibrovaným tělesem udává pojezd vozíku a výsuv výsuvné nohy.

4. Způsob měření a/nebo kalibrace polohy tělesa v prostoru podle nároku 1, **vyznačený tím**, že kinematická struktura alespoň jednoho pohyblivého ramene umožňuje současně určit více než jeden stupeň volnosti objektu v prostoru.

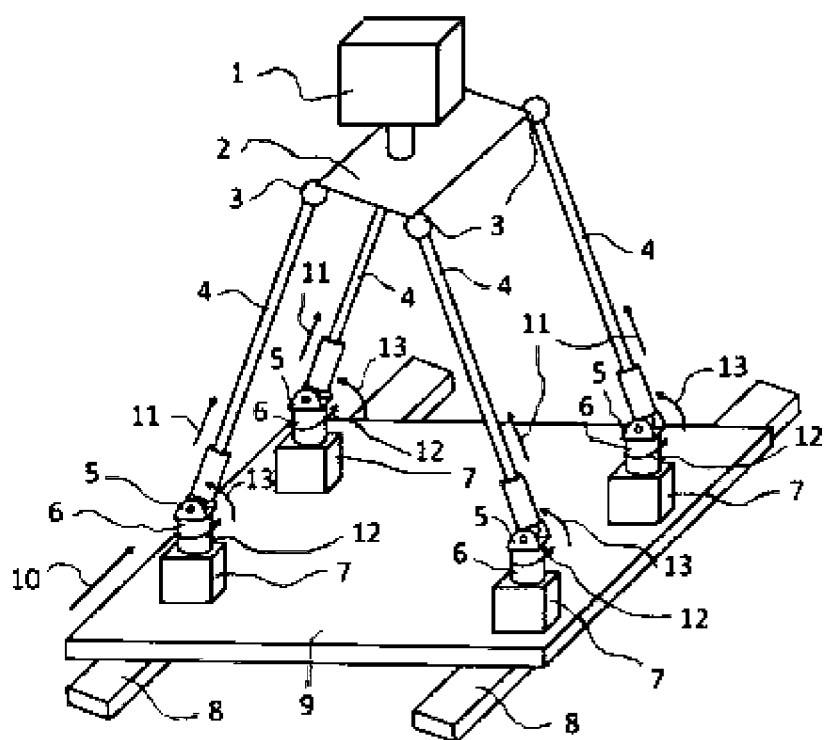
5. Zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru, sestávající z alespoň dvou pohyblivých ramen, které jsou jedním koncem spojeny s rámem a druhým koncem s nosnou platformou určenou pro připojení na měřené nebo kalibrované těleso, přičemž zařízení je opatřeno čidly pro snímání vzájemné polohy jednotlivých členů zařízení, přičemž počet čidel je větší než počet stupňů volnosti zařízení, **vyznačené tím**, že pohyblivá ramena jsou představována výsuvnými nohami (4), které jsou jedním koncem kloubově spojena s vozíkem (7) a druhým koncem s nosnou platformou (2), přičemž vozíky (7) jsou přímo nebo přes pohyblivou platformu (9) vedeny v posuvných vedeních (8).

6. Zařízení pro měření a/nebo kalibraci polohy tělesa v prostoru podle nároku 5, **vyznačené tím**, že pohyblivá platforma (9) je opatřena bočními vedeními pro uložení vozíků (7).

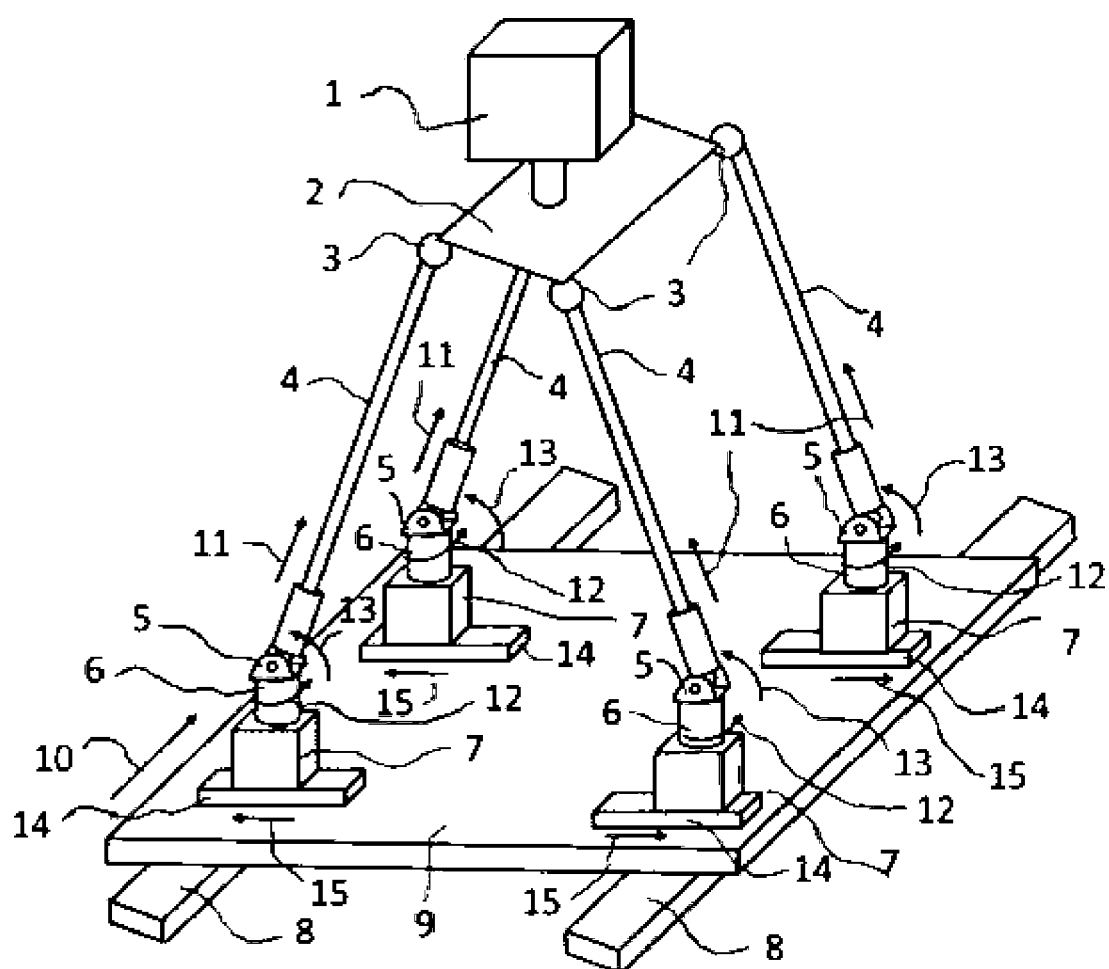
3 výkresy



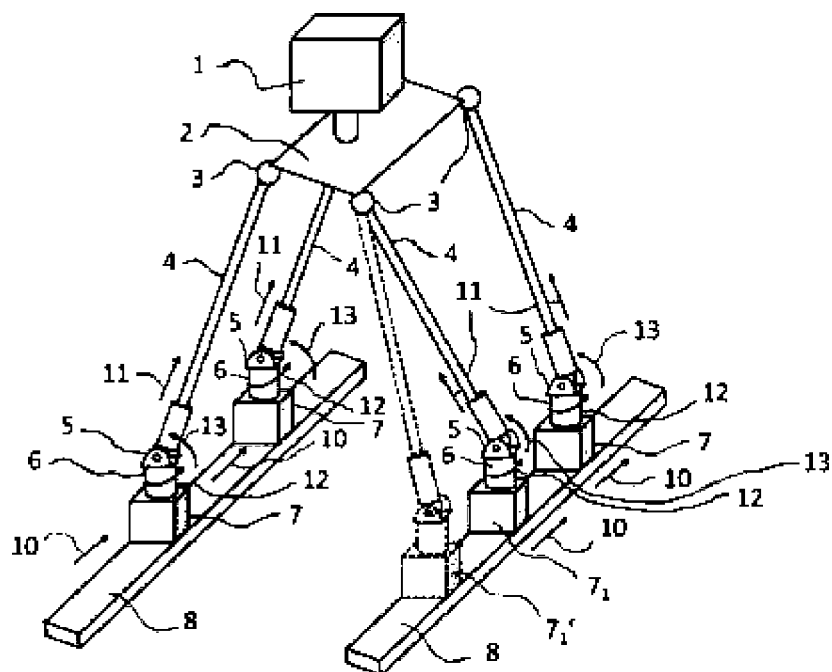
Obr. 1



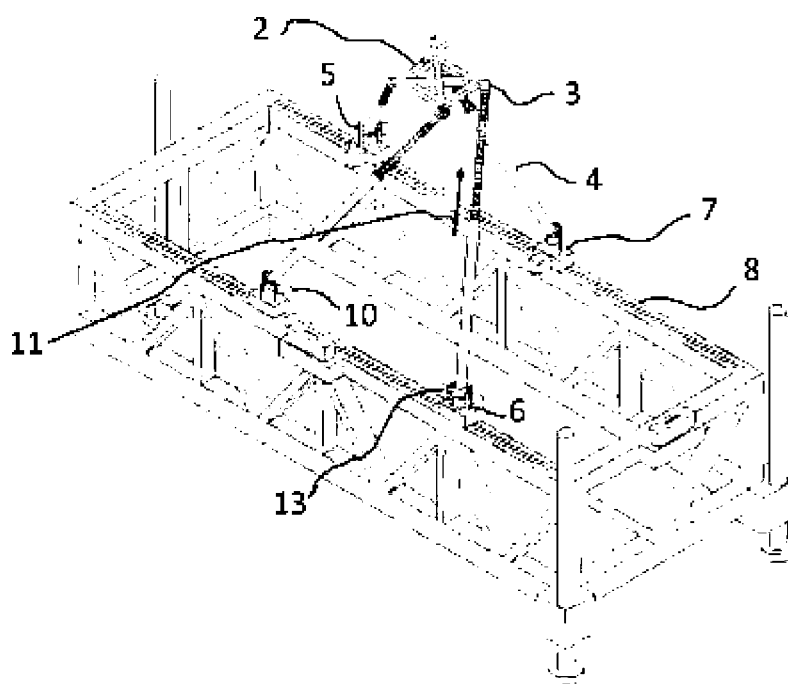
Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5