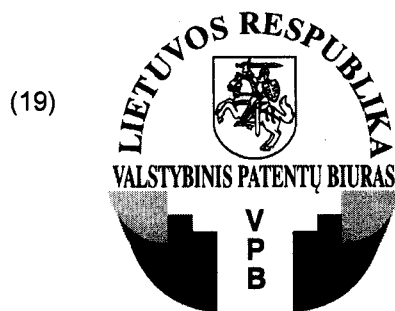




(10) **LT 5735 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patent numeris: **5735** (51) Int. Cl. (2011.01): **G01B 11/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2009 047**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2009 07 10**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2011 01 25**
- (45) Patent paskelbimo data: **2011 06 27**
- (62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —
- (85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —
- (30) Prioritetas: —
- (72) Išradėjas:  
**Domantas BRUČAS, LT**  
**Jūratė SUŽIEDĖLYTĖ VISOCKIENĖ, LT**
- (73) Patent savininkas:  
**Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, LT**
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:  
—

- (54) Pavadinimas:  
**Kampų matavimo prietaisų kalibravimo būdas**

- (57) Referatas:

Išradimas priklauso matavimo technikos ir technologijų sritims ir skirtas prietaisų, naudojamų pramonėje, gamyboje, moksle kampų matavimo tikslumui nustatyti. Siūlomas išradimas pagrįstas prietaisų kampų kalibravimo ir fotogrametrinio būdų apjungimu. Kalibravimo plokštelė (2) su ryškiomis markėmis (taškais), reikalingomis fotonuotraukų fotogrametriniam apdorojimui, bet kurioje padėtyje pritaikoma prie kalibruojamojo kampų matavimo (ar pozicionavimo) prietaiso sukamosios dalies (1). Kalibravimo plokštelė (2) sukasi kartu su kalibruojamojo prietaiso sukamąja dalimi. Tam tikru atstumu nuo kalibruojamojo prietaiso statomas stovas su dviem skaitmeninėmis aukšto tikslumo fotokameromis (3). Kalibravimo metu kalibruojamojo prietaiso sukamoji dalis pasukama tam tikru kalibravimo kampu, sustabdžius sukimą fotokameromis daromos dvi (ar daugiau) tarpusavyje persidengiančios kalibravimo plokštelės fotonuotraukos. Pasukus prietaiso sukamąją dalį kitu kampu, procedūra kartojama. Fotonuotraukas apdorojus fotogrametrinėmis kompiuterinėmis programomis, gaunamas kalibravimo plokštelės markių geometrinis modelis. Kompiuterinėmis projektavimo programomis pagal taškų modelių duomenis nubraižoma vidutinė taškų plokštuma kiekvienam kalibravimo žingsniui, išmatuojamas erdvinis kampas tarp šių plokštumų. Gautas kampas sulyginamas su kalibruojamojo prietaiso rodmenimis. Šiuo būdu galima kalibruoti bet kokį erdvinį kampą. Plokštelės matmenys ir padėtis kalibruojamojo prietaiso sukimosi ašies atžvilgiu gali skirtis.

### Technikos sritis

Išradimas priklauso matavimo technikos ir technologijų sritims ir skirtas prietaisų, naudojamų pramonėje, gamyboje, moksle kampų matavimo tikslumui nustatyti. Kampų matavimo prietaisų tikslumo kontrolė šiuo metu atliekama poligonais/autokolimatoriais, „Moore Indexing“ staliukais, apskritiminių skalių/mikroskopais, fotoelektriniais keitikliais ir kitais būdais ir įrenginiais.

Siūlomas būdas gali būti taikomas geodezinių prietaisų (teodolitų, tacheometrų), mašinų gamyboje mechaninio apdirbimo staklių, kampų matavimo ir pozicionavimo prietaisų (staklių sukamųjų staliukų, interpoliuotų staklių špindelių, įvairių kampinio pozicionavimo staliukų ir t.t.) ir kitų įrenginių kalibravimui atlikti.

### Technikos lygis

Bendruoju atveju kampinės padėties yra nustatomos (bei kampinės vertės gali būti kalibruojamos) tokiais būdais:

1. „Kietų“ kampinių matų būdu:
  - poligonų (daugiakampės prizmės);
  - kampinių prizmių;
  - kampinių plokštelių ir kt.
2. Trigonometriniais būdais (kampas nustatomas naudojantis linijiniais matavimais);
3. Goniometriniais būdais (kampas nustatomas naudojantis apskritimine skale):
  - Viso apskritimo (apskritiminis limbas, apskritiminė kodinė skalė ir kt.);
  - Dalies apskritimo (sektorinės skalės).

Kampų matavimo prietaisų kalibravimui dažniausiai naudojami tokie įrengimai:

1. Poligonas/autokolimatorius;
2. Moore's Precision Index staliukas;
3. Optinė skalė/mikroskopas(-ai);
4. Kampo keitikliai (įvairių veikimo principų);
5. Žiedinis lazeris (lazerinis girometras).

Visais minėtais įrenginiais galima pasiekti aukštą kalibravimo tikslumą, tačiau kalibravimo automatizavimas yra įvairus (Moore's Precision Index staliukas labai sunkiai automatizuojamas, tuo tarpu kampo keitikliai bei žiedinis lazeris iš esmės duomenis teikia

automatizuotai). Daugumas šių įrengimų yra sudėtingi bei brangūs ir sunkiai taikomi kalibruojamųjų prietaisų darbo aplinkoje (ceche ir t.t.), tai riboja jų pritaikomumą. Pagrindinis visų minėtų kampų kalibravimo prietaisų įrengimo trūkumas yra būtinybė juos tiksliai mechaniškai suderinti su kalibruojamaisiais prietaisais (centravimas, gulsčiavimas), kad būtų išvengta stambių ekscentriciteto paklaidų atsiradimo. Šis mechaninis derinimas užima daug laiko, reikalauja aukštos derintojo kvalifikacijos.

Daugelis uždavinių kylančių technikos ir mokslo srityse sprendžiami antžeminiiais fotogrametriniais būdais. Pradinė informacija – fotonuotrauka yra gaunama fotokamera. Fotokameros turi būti labai tikslios (sukalibruotos), ypač dabar, kai plačiai taikomi skaitmeniniai fotogrametrijos būdai. Šio būdo esmę sudaro objekto trimačių koordinačių (X, Y, Z) nustatymas pagal dvi ar daugiau persidengiančias fotonuotraukas. Fotonuotraukų apdorojimui reikalingas ir geodezinis pagrindas, tai yra vietovėje turi būti išmatuoti atraminiai taškai, pagal kuriuos vėliau bus atliekamas fotonuotraukų orientavimas. Nesant tokių taškų, objekto trimatis vaizdas gaunamas laisvoje geometrinio modelio koordinačių sistemoje. Šis fotogrametrijos būdas plačiai taikomas architektūroje (paveldo objektų esamam vaizdui fiksuoti), medicinoje (kūno organų formos nustatymui), mašinų gamyboje (detalių formų nustatymui trimatėje erdvėje) ir kt. Objektų trimatis vaizdas, gautas apdorojus fotonuotraukas kompiuterine programa, gali būti perkeliamas į trimačio projektavimo kompiuterines programas tolimesniems matavimams atlikti.

Kampų matavimo prietaisų kalibravimui paprastai naudojamas komparavimo būdas – kalibruojamojo kampų matavimo prietaiso rodmenys lyginami su kur kas tikslesnio (kalibruojančiojo) prietaiso rodmenimis. Kalibruojamojo prietaiso sukamoji dalis mechaniškai jungiama su kalibruojančiojo prietaiso atitinkama dalimi, tiksliai mechaniškai išstatant abiejų prietaisų sukimosi ašis bei plokštumas. Atlikus prietaiso sukamosios dalies pasukimą į atitinkamą kampinę padėtį, fiksuojami kalibruojamojo bei kalibruojančiojo prietaiso rodmenys. Palyginus minėtuosius kalibruojančiojo bei kalibruojamojo prietaisų rodmenis, daromos išvados apie kalibruojamojo prietaiso matavimų sisteminę paklaidą.

Minėtieji matavimai dėl jų sudėtingumo ir dažniausiai gan gremėzdiškos įrangos, paprastai atliekami laboratorijos sąlygomis ir, tik retais atvejais – gamybinėse sąlygose.

Pastaruoju metu kampų matavimo prietaisų kalibravimui dažniausiai naudojami sukamieji staliukai – komparatoriai, kurių kampinės padėties rodmenys gaunami precizinių (tikslių) kampo keitiklių pagalba. Šiems tikslams paprastai naudojami aukšto tikslumo fotoelektriniai kampo keitikliai, nors gali būti naudojami ir bet kurie skyriuje prieš tai minėti kampo nustatymo būdai ir priemonės.

Vilniaus Gedimino technikos universitete (VGTU), Geodezijos Institute yra sukonstruotas kampų kalibravimo stendas (komparatorius), skirtas kampų matavimo prietaisų kalibravimui. Šis prietaisas dažniausiai naudojamas geodezinių kampų matavimo prietaisų (kaip teodolitai, tacheometrai) horizontaliojo kampo kalibravimui [Bručas, D. *Development and research of the test bench for the angle calibration of geodetic instruments*; Geodezinių kampų matavimo prietaisų kalibravimo įrangos kūrimas ir tyrimas: daktaro disertacija: technologijos mokslai, matavimų inžinerija (10T)/ Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika, 2008. 141 p.].

Komparatoriuje kampinė sukamojo stalo padėtis yra fiksuojama preciziniu fotoelektriniu kampo keitikliu. Kalibruojamasis prietaisas viena savo dalimi, paprastai kelmeliu, yra montuojamas ant sukamojo stalo, išlaikant griežtą kalibruojančiojo ir kalibruojamojo prietaisų sukimosi ašių koncentriškumą ir lygiagretumą. Kita kalibruojamojo prietaiso dalis (besisukanti atskirai nuo kelmelio) standžiai tvirtinama prie nejudamos kalibruojančio prietaiso per tam tikrą tvirtinimą dalies ir nejudą. Kalibravimas vykdomas sukanč kalibruojančio prietaiso stalą ir lyginant kalibruojamojo ir kalibruojančiojo prietaisų rodmenis.

Pagrindiniu įrenginiu nustatančiu kampinę sukančiojo disko padėtį yra precizinis fotoelektrinis kampo keitiklis, tačiau papildomai disko padėtis gali būti nustatoma autokolimatoriumi su daugiakampe prizme ar mikroskopu ir apskritimine skale.

Kitas tikslų kampų kalibravimo komparatorių pavyzdys, yra Braunšveigo nacionaliniame Vokietijos metrologijos centre (PTB) [Probst, R.; Wittekopf, R.; Krause, M.; Dangschat, H.; Ernst, A. The New PTB Angle Comparator. *Measurement Science Technology*, IOP Publishing, 1998, 9, 1059–1066 p.].

Šiuo atveju sukamojo stalo tiksli kampinė padėtis yra nustatoma tik preciziniu fotoelektriniu kampo keitikliu. Bendras įrengimo veikimo principas yra analogiškas anksčiau aprašyto kalibravimo stendo veikimui.

Aprašytaisiais atvejais labai svarbu užtikrinti kalibruojančiojo bei kalibruojamojo prietaisų sukimosi ašiškumą, siekiant išvengti papildomų matavimo paklaidų (ekscentriciteto ir kt.). Toks mechaninis derinimas užima ganėtinai daug laiko.

Šie prietaisas įgalina kalibruoti tik horizontaliuosius-plokščiuosius kampus. Kartu su horizontaliuoju kampu norint kalibruoti ir vertikalųjų (pvz., geodeziniais prietaisams – teodolitams, tacheometrams) naudojami specializuoti kalibravimo stendai [Ingensand, H. A New Method of Theodolite Calibration. *XIX International Congress*, Helsinki, Finland, 1990, 91–99 p.].

Minėtojo stendo geodezinių prietaisų vertikalų kampų matavimų kalibravimui naudojamas atskiras sukamasis prietaisas, kurio rankenos kampinė padėtis nustatoma preciziniu fotoelektriniu kampo keitikliu.

Vertikalaus kampo kalibravimo įrengimas yra praktiškai identiškas horizontalaus kampo kalibravimo staliukui, sumontuotam tame pačiame prietaise, tik pastatytas horizontalioje ašyje. Atliekant horizontalaus kampo kalibravimą, kalibruojamojo prietaiso kelmelis tvirtinamas prie horizontalaus sukimo staliuko ir sukasi kartu su juo, o visas kalibruojamasis prietaisas išlaikomas stabilioje kampinėje padėtyje. Vertikalaus kampo kalibravimo atveju, kalibruojamam prietaisui stovint fiksuotoje horizontalioje padėtyje, jo žiūronas kalibravimo prietaiso sukamąją rankena sukamas tam tikru kampu. Lyginant tacheometro vertikalaus kampo atskaitas su kalibruojančiojo prietaiso vertikalaus kampo rankenos kampine padėtimi (fiksuojama, remiantis kampo keitiklio rodmenimis), randamos tacheometro vertikalų matavimų sistemingosios paklaidos.

Minėtieji kampų kalibravimo prietaisai (būdai) yra gana dažnai naudojami, tačiau jų įranga pagrįsta precizinės mechanikos ir elektroninių fotoimpulsinių matavimo daviklių naudojimu yra sudėtinga, brangi ir sunkiai pritaikoma skirtingų prietaisų kalibravimui (neuniversali). Sudėtinga išlaikyti aukšto tikslumo reikalavimus, keliamus mechaniniam kalibruojamo ir kalibruojančiojo prietaisų sujungimui (tikslaus prietaisų sukimosi ašių bei plokštumų suderinimui).

### **Išradimo esmė**

Siūlomas išradimas pagrįstas prietaisų kampų kalibravimo ir fotogrametrinio būdų apjungimu.

Kampų matavimo prietaisų kalibravimo būde naudojami įtaisai: kalibravimo plokštelė, padengta markėmis (taškais), skaitmeninių fotokamerų stendas (dviejų ar vieno fotoaparato) bei kompiuterinė apdorojimo programa. Kalibruojamojo prietaiso sukamosios dalies kampinė padėtis yra gaunama fotogrametriškai pagal fotonuotrauką, nustatant kalibravimo plokštelės, įtvirtintos ant sukamosios kalibruojamojo prietaiso dalies markių trimates (erdvines) koordinates ir kompiuterine programa per jas nubrėžus vidutinę plokštumą, minėtosios plokštumos padėtis kompiuterinėje programoje lyginama su kitos kalibruojamojo prietaiso kampinės padėties vidutine plokštuma, tokiu būdu nustatant erdvinį kampą tarp minėtųjų plokštumų. Kampo etalonas sukuriamas kompiuterinėje specializuotoje programoje.

Be to, dėl erdvinio kampo nustatymo tarp plokštumų kompiuterinėje programoje, nėra svarbu, kurioje kalibruojamojo prietaiso sukimosi stalo padėtyje yra įtvirtinama kalibravimo plokštelė, vienintelis reikalavimas – kad kalibravimo plokštelė būtų matoma abiejų fotokamerų viso kalibravimo metu, tokiu būdu nebereikia tikslaus mechaninio kalibruojamojo ir kalibruojančiojo prietaisų išstatymo, tai labai sutrumpina kalibravimo laiką bei padidina kalibruojančiojo prietaiso universalumą.

Kalibruojančio prietaiso universalumą taip pat didina tai, kad nekeičiant kalibravimo plokštelės padėties gali būti kalibruojami tiek horizontalūs, tiek ir vertikalūs kalibruojamojo prietaiso matuojami kampai, o kalibravimo duomenys gali būti apdorojami vėliau, bet kurioje vietoje, kur yra kompiuteris su reikiama programine įranga.

### **Trumpas brėžinių aprašymas**

Fig. 1 – bendras kalibravimo įrangos išdėstymas, kai kalibruojamas frezavimo staklių staliukas;

Fig. 2 – bendras kalibravimo įrangos išdėstymas, kai kalibruojamas tacheometras;

Fig. 3 – kompiuterinėmis projektavimo programomis pagal taškų modelių duomenis nubraižytos vidutinės taškų plokštumos vaizdas;

Fig. 4 ir 5 – erdvinį kampų tarp kalibravimo plokštumų nustatymo schemas.

### **Išradimo realizavimo aprašymas**

Siūlomas išradimas pagrįstas prietaisų kampų kalibravimo ir fotogrametrinio būdų apjungimu (Fig.1, 2). Šiuo atveju, etaloninis kampas yra sukuriamas kompiuterinės programos viduje naudojantis fotogrametriniais duomenimis gautais iš kalibravimo plokštelės sumontuotos ant realaus kalibruojamojo įrengimo.

Būdo naudojamus prietaisus sudaro: prie kalibruojamojo įrenginio sukamosios dalies 1 tvirtinama kalibravimo plokštelė 2 (ar kitokios formos objektas turintis plokščias briaunas) su gerai atskiriamomis markėmis taškais), stovas su dviem (ar kai kuriais atvejais viena) skaitmeninėmis fotokameromis 3, kompiuteris fotogrametriniams bei metrologiniams duomenims apdoroti.

Kalibravimo plokštelė 2 (Fig.1, 2) su ryškiomis markėmis (taškais), reikalingomis fotonuotrukų fotogrametriniam apdorojimui, bet kurioje padėtyje pritaisoma (prisukama, pritvirtinama magnetiniu laikikliu ar bet koku kitu būdu) prie kalibruojamojo kampų matavimo (ar pozicionavimo) prietaiso (pvz., frezavimo staklių sukamojo staliuko 1 (Fig.

1), arba tacheometro 1 (Fig.2) sukamosios dalies. Kalibravimo plokštelė 2 sukasi kartu su kalibruojamojo prietaiso sukamąja dalimi. Tam tikru atstumu (taip, kad kalibravimo plokštelė būtų matoma abiejų fotokamerų bet kurioje jos kampinėje padėtyje) nuo kalibruojamojo prietaiso statomas stovas 1 (Fig.1, 2) su dviem stabiliai pritvirtintomis skaitmeninėmis aukšto tikslumo fotokameromis 3 (ar viena fotokamera, kurios padėtis keičiama kalibravimo eigoje). Kalibravimo metu kalibruojamojo prietaiso sukamoji dalis pasukama tam tikru kalibravimo kampu (kalibruojamas įrengimas gali būti sukamas automatizuotai ar rankiniu būdu). Sustabdžius sukimą fotokameromis daromos dvi (ar daugiau) tarpusavyje persidengiančios kalibravimo plokštelių fotonuotraukos. Kalibruojamojo prietaiso kampiniai rodmenys fiksuojami (elektroninėje laikmenoje ar užrašomi kalibravimo žurnale). Pasukus prietaiso sukamąją dalį kitu kampu, procedūra kartojama.

Atlikus pilną reikiamą kalibravimo matavimų seriją, kalibravimo įranga gali būti išmontuojama. Tolimesnė duomenų analizė atliekama kompiuteriu su reikiama programine įranga.

Fotonuotraukas apdorojus fotogrametrinėmis kompiuterinėmis programomis (PhotoMod, Photomodeler ir kt.), gaunamas kalibravimo plokštelių markių (taškų) geometrinis modelis (taškai trimatėje erdvėje su X, Y, Z koordinatėmis). Kompiuterinių projektavimo programų pagalba (Imageware, Catia, Unigraphics ir kt.) pagal taškų modelių duomenis (debesis) nubraižoma vidutinė taškų plokštuma kiekvienam kalibravimo žingsniui (Fig. 3).

Turint nubrėžtas kalibravimo plokštelių plokštumas keliuose kampinėse kalibravimo plokštumose galima išmatuoti erdvinį kampą tarp šių plokštumų (Fig.4, 5). Kampas rezultatas sulyginamas su kalibruojamojo prietaiso rodmenimis.

Fig.4 ir 5 matyti, kad kampas tarp plokštumų  $\alpha$  bus vienodas (esant tam pačiam sukamosios kalibruojamojo prietaiso dalies pasukimo kampui) nepriklausomai nuo to, kaip kalibravimo plokštelė bus pastatyta (I, II ar III padėtyje, Fig.4 ir 5), t. y. koku atstumu nuo sukimosi centro ar kaip sugulščiuota ir sucentruota. Plokštumų sukimosi ašis bus ir kalibruojamojo prietaiso sukimosi ašis.

Šiuo būdu galima kalibruoti bet kokį erdvinį kampą (pvz., vertikalių  $\alpha_v$ , ar horizontalų  $\alpha_h$ , Fig.2) siūlomos kalibravimo plokštelių pagalba. Plokštelių matmenys ir padėtis kalibruojamojo prietaiso sukimosi ašies atžvilgiu gali skirtis. Kuo didesni plokštelių matmenys ar kuo didesnis atstumas nuo sukimosi centro iki plokštelių padėties, tuo didesnį matavimų tikslumą įmanoma pasiekti (dėl didesnio taškų linijinio poslinkio).

Norint atlikti kampų matavimo prietaiso kalibravimą visame apskritime ( $360^\circ$ ) būtina, priėjus iki kampinės ribinės matomos plokštelės padėties, keisti fotokamerų buvimo vietą (pernešti taip, kad kalibravimo plokštelė būtų matoma fotokamerų), arba keisti plokštelės padėtį ant kalibruojamojo prietaiso (kad plokštelė būtų fotokamerų matoma) ar naudoti specialų erdvinį kūną (erdvinį trikampį, keturkampį ir kitą, turintį kelias plokštumas), kurio bent viena plokštuma būtų nuolatos fotokamerų matymo lauke.

### Išradimo apibrėžtis

1. Kampų matavimo prietaiso kalibravimo būdas, apimantis kalibravimo plokštelės tvirtinimą ant kalibruojamo prietaiso, fotogrametrinių duomenų gavimą dviem arba viena skaitmenine fotokamera ir duomenų apdorojimą kompiuterine programa, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad padengtą markėmis (taškais) kalibravimo plokštelę (2) tvirtina ant sukamosios kalibruojamojo prietaiso dalies (1), kalibruojamo prietaiso sukamosios dalies kampinę padėtį gauna fotogrametriškai pagal fotonuotraukas, nustačius kalibravimo plokštelės markių trimates (erdvines) koordinates ir per jas kompiuterine programa nubrėžus vidutinę plokštumą, minėtosios plokštumos padėtį kompiuterinėje programoje lygina su kitos kalibruojamojo prietaiso kampinės padėties vidutine plokštuma ir tokiu būdu nustato erdvinį kampą tarp minėtųjų plokštumų.

2. Kampų matavimo prietaiso kalibravimo būdas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kampo etaloną sukuria kompiuterinėje specializuotoje programoje.

3. Kampų matavimo prietaiso kalibravimo būdas pagal 1 arba 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad dėl erdvinio kampo nustatymo tarp plokštumų kompiuterinėje programoje kalibravimo plokštelę (2) tvirtina taip, kad ji būtų matoma abiejų fotokamerų (3) viso kalibravimo metu.

4. Kampų matavimo prietaiso kalibravimo būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad nekeičiant kalibravimo plokštelės (2) padėties kalibruoja tiek horizontalius, tiek ir vertikalius kalibruojamojo prietaiso matuojamus kampus.

5. Kampų matavimo prietaiso kalibravimo būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kalibravimo duomenis apdoroja vėliau tinkamoje vietoje, kur yra kompiuteris su reikiama programine įranga.

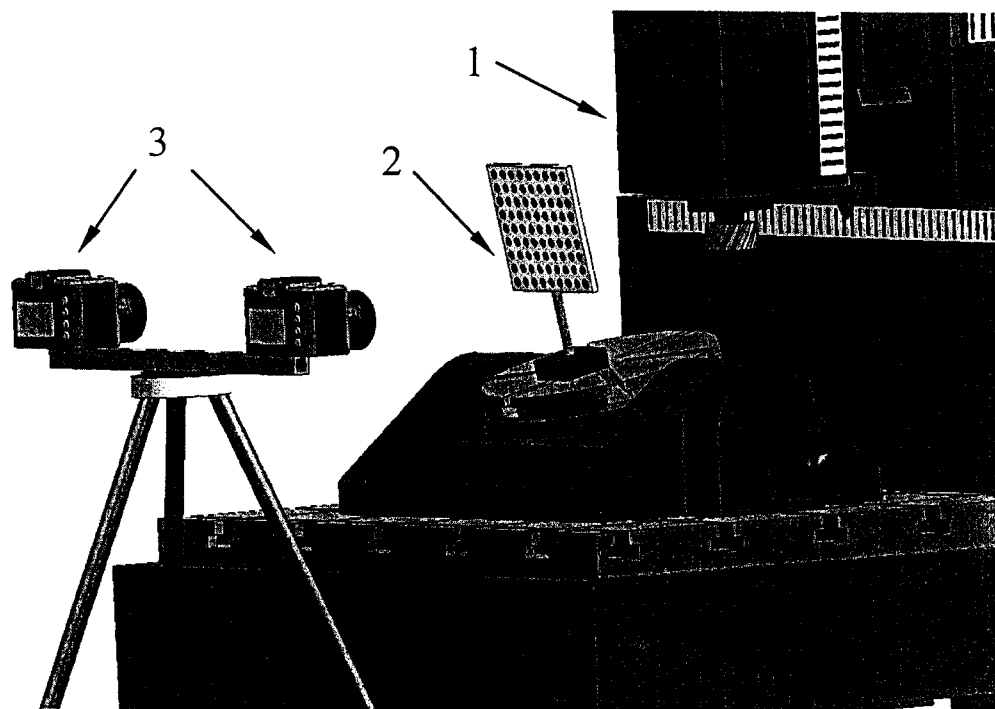


Fig. 1

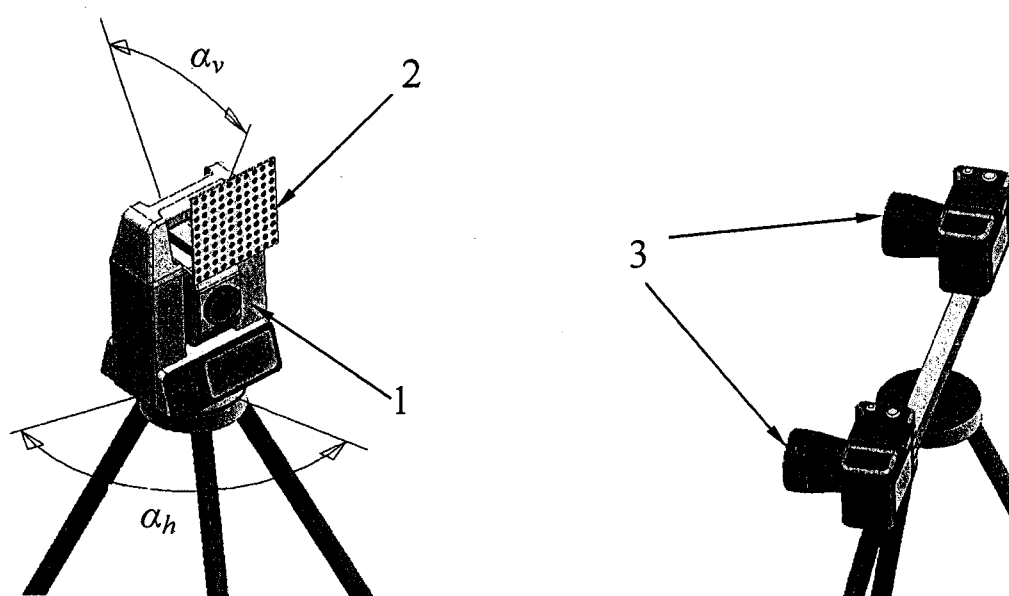


Fig. 2

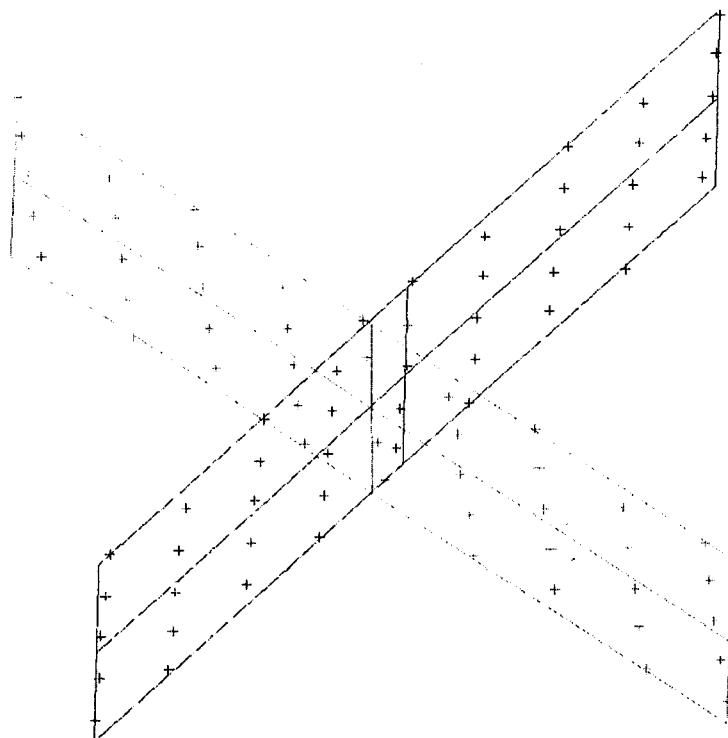


Fig. 3

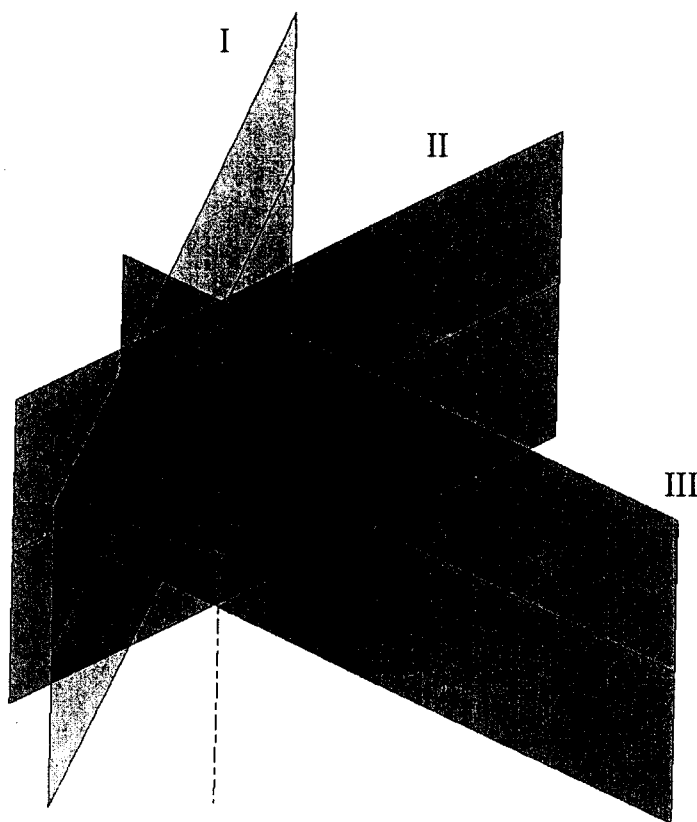


Fig. 4

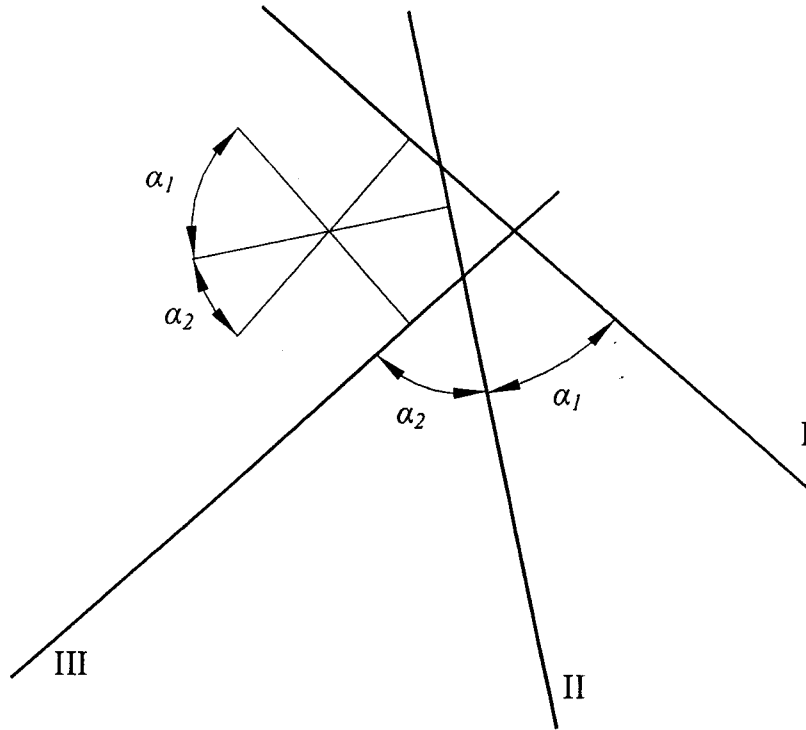


Fig. 5