

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2015 年 5 月 28 日 (28.05.2015)



(10) 国际公布号
WO 2015/074357 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01B 11/00 (2006.01) G01B 11/26 (2006.01)
G01B 11/03 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/074058
- (22) 国际申请日: 2014 年 3 月 25 日 (25.03.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201310590016.8 2013 年 11 月 20 日 (20.11.2013) CN
- (71) 申请人: 天津大学 (TIANJIN UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。
- (72) 发明人: 郝继贵 (ZHU, Jigui); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 林嘉睿 (LIN, Jiarui); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

300072 (CN)。 任永杰 (REN, Yongjie); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 杨凌辉 (YANG, Linghui); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。 任瑜 (REN, Yu); 中国天津市南开区卫津路 92 号, Tianjin 300072 (CN)。

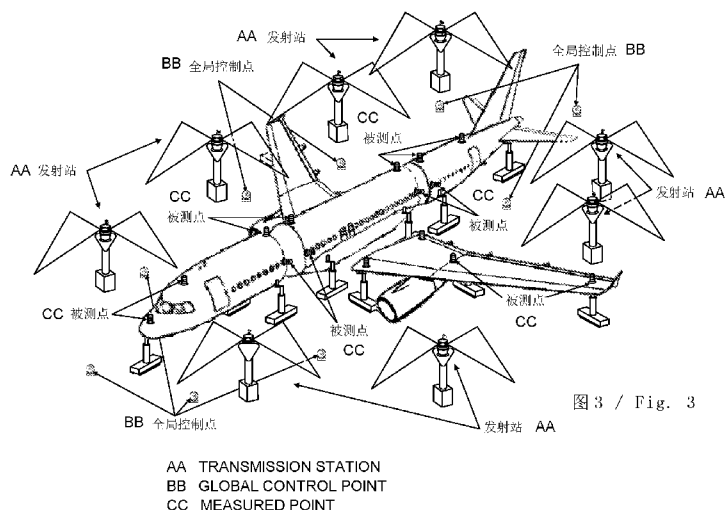
(74) 代理人: 天津市北洋有限责任专利代理事务所 (BEI&OCEAN); 中国天津市南开区鞍山西道时代公寓 A 座 603, Tianjin 300193 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

[见续页]

(54) Title: PRECISION SOURCE-TRACING METHOD FOR PRECISE CONTROL FIELD OF INDOOR SPACE MEASUREMENT AND POSITIONING SYSTEM

(54) 发明名称: 室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法



(57) Abstract: A precision source-tracing method for a precise control field of an indoor space measurement and positioning system comprises: disposing multiple mobile bird nests and multiple stations inside measurement space; forming global control points by using a target reflection mirror and the mobile bird nests; measuring, by a laser tracker (201), three-dimensional coordinates of all the global control points under all the stations; calculating, by means of dynamic weighting, the three-dimensional coordinates of the global control points by using a distance measurement value of the laser tracker (201) as a constraint; disposing multiple transmission stations (101), and implementing the orientation process of the transmission stations in combination with a fine control field; and simultaneously measuring the global control points and measured points by using the indoor space measuring and locating system, and calculating the three-dimensional coordinates of the measured points by using the three-dimensional coordinates of the global control points as a constraint. By using a high-precision distance measurement of a laser tracker (201) as a constraint, the three-dimensional coordinates that are more accurate, of the global control points are obtained, a fine control field is constructed and used as a measurement basis of a wMPS system, on-site precision source-tracing is implemented, thereby improving the measurement precision of the wMPS system.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2015/074357 A1



(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,

CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种室内空间测量定位系统的精密控制场精密溯源方法, 包括在测量空间内布设由多个移动鸟巢和多个站位; 利用目标反射镜和移动鸟巢上组成全局控制点; 激光跟踪仪(201)在所有站位下测量所有全局控制点的三维坐标; 利用激光跟踪仪(201)的测距值作为约束, 采用动态加权, 解算全局控制点的三维坐标; 布置多个发射站(101), 结合精密控制场完成发射站定向过程; 利用室内空间测量定位系统同时测量全局控制点和被测点, 以全局控制点的三维坐标作为约束, 解算被测点的三维坐标。利用激光跟踪仪(201)高精度测距作为约束, 获取全局控制点更为精确的三维坐标, 构建精密控制场, 作为 wMPS 系统的测量基准, 实现现场精度溯源, 进而提高 wMPS 系统的测量精度。

室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法

技术领域

本发明属于工业现场大尺寸三维坐标测量方法，特别涉及一种室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法。

背景技术

室内空间测量定位系统（wMPS: Workspace Measurement Positioning system）是针对航天、航空、造船等大型制造业测量需求，基于空间角度交会特点发展起来的一种新型的多站分布式空间测量定位系统，可实现大尺度空间坐标的网络化高精度自动测量。图 1 为已有技术的室内空间测量定位系统（即《扫描平面激光空间定位系统测量网络的构建》所描述的空间测量定位系统）组成示意图。如图 1 所示，这种 wMPS 定位系统主要由多个发射站 101、多个接收器 102 和解算工作站 103 组成。此类系统借鉴全球定位系统的思想，使用多个发射站 101 组成测量网络，采用基于光电扫描的空间角度交会自动测量方法对单个接收器 102 进行定位，发射站 101 在工作时不负责解算接收器坐标，而是通过向外发射带有角度信息的光信号，为测量空间内的光电接收器提供定位服务。

由于 wMPS 定位系统采用空间角度交会进行三维坐标测量，测量误差随测量距离增加而显著增大，需要通过测量现场精度溯源来保证测量的可靠性。传统的现场精度溯源多采用标准件作为测量基准，携带维护不方便，测量灵活性不高，难以适应工业大尺寸现场的测量范围大，环境恶劣等特点。目前，在大尺度空间内尚没有可靠的溯源基准。

因此，研究空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法对提高室内空间测量定位系统的测量精度，实现现场测量的精度溯源具有重要价值。

发明内容

针对上述现有技术，为了弥补 wMPS 系统因测量距离增大导致的精度损失，以及工业现场大尺寸测量难以使用标准件实现精度溯源的不足，充分利用激光跟踪仪干涉测距可直接溯源至激光波长的特点，本发明提供一种室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法。本发明利用激光跟踪仪高精度测距作为约束，获取全局控制点更为精确的三维坐标，构建精密控制场，作为 wMPS 系统的测量基准，实现现场测量的精度溯源，进而提高 wMPS 系统的测量精度。

为了解决上述技术问题，本发明一种室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法，包括以下步骤：

- 步骤一、在测量空间内布设有 N 个移动鸟巢和 M 个站位，将激光跟踪仪放置在站位 1，
- 步骤二、将一目标反射镜放在移动鸟巢 1 上形成全局控制点 1，测量该全局控制点 1

的三维坐标，以此类推，移动所述目标反射镜到移动鸟巢 2、移动鸟巢 3、……、移动鸟巢 N-1、移动鸟巢 N，测量所有全局控制点 2、全局控制点 3、……、全局控制点 N-1 和全局控制点 N 的三维坐标；

5 步骤三、将激光跟踪仪依次放置在站位 2、站位 3、……、站位 M-1 和站位 M，每次移动激光跟踪仪后重复步骤二，至此，完成所有站位对所有全局控制点的共同观测；上述步骤二和步骤三中，激光跟踪仪在每个站位至少测量到 3 个以上的全局控制点；

步骤四、根据所有站位下、所有全局控制点的三维坐标计算所有站位的方位定向，从而获得所有全局控制点和所有站位三维坐标迭代初值；

10 步骤五、利用所述激光跟踪仪测得的站位与全局控制点的距离值作为约束建立优化目标方程，进行平差解算，其中采用动态加权的方法，将所述全局控制点的三维坐标测量精度溯源至激光跟踪仪干涉测距精度，从而建立精密控制场；

步骤六、在测量空间内布置多个发射站，待发射站初始化后，结合精密控制场完成发射站定向过程，快速组成测量网络；

15 步骤七、利用室内空间测量定位系统同时测量全局控制点和被测点，以全局控制点的三维坐标作为约束，进行平差解算，求得被测点的三维坐标，将被测点的三维坐标测量精度溯源至精密控制场。

与现有技术相比，本发明的有益效果是：

20 本发明根据激光跟踪仪干涉测距可直接溯源至激光波长的特点，利用跟踪仪高精度测距作为约束，获取现场工装型架上全局控制点更为精确的三维坐标，构建精密控制场，并将其作为工业现场高精度测量基准，室内空间测量定位系统同时测量全局控制点和被测点，并利用高精度平差解算，将全局控制点的精度复现到被测点上，实现现场测量的精度溯源，提高了室内空间测量定位系统的测量精度。

附图说明

25 图 1 是现有技术室内空间测量定位系统（wMPS）组成示意图；
图 2 是本发明中全局控制点三维坐标在多个站位下的测量过程示意图；
图 3 是将被测点精度溯源至精密控制场示意图；
图 4 是与 1.5 英寸目标反射镜大小形状一致的接收器 104 的示意图；
图 5 是激光跟踪仪 201 球坐标测量系统数学模型示意图。

30

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明提供的室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法进行详细说明。

35 本方法是基于《扫描平面激光空间定位系统测量网络的构建》所述的室内空间测量定位系统(即所述的已有技术中的 WMPS 系统)，并结合精密控制场实现测量现场精度溯源。

wMPS 系统组成如图 1 所示, 采用基于光电扫描的空间角度自动测量方法对单个光电接收器(简称接收器)进行定位, 发射站在工作时不负责解算接收器坐标, 而是通过向外发射带有角度信息的光信号, 为测量空间内的光电接收器提供定位服务。系统内每个接收器收到发射站光信号后自动计算自身在各个发射站坐标系的下的角度信息, 并结合已知的发射站方位信息使用角度交会方法计算自身三维坐标。

如图 2 所示, 为了提高室内空间测量定位系统的测量精度, 实现现场测量的精度溯源, 本发明一种室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法, 包括以下步骤: 以飞机大部件对接为例

步骤一、在对接机身的装配型架上布设 N 个移动鸟巢, 在对接大部件周围布设 M 个站
10 位, 将激光跟踪仪 201 放置在站位 1,

步骤二、将一目标反射镜 202 (本发明中目标反射镜 202 为 1.5 英寸目标反射镜) 放在移动鸟巢 1 上形成全局控制点 1, 利用激光跟踪仪 201 测量该全局控制点 1 的三维坐标, 以此类推, 移动所述目标反射镜 202 到移动鸟巢 2、移动鸟巢 3、……、移动鸟巢 N-1、移动鸟巢 N, 测量所有全局控制点 2、全局控制点 3、……、全局控制点 N-1 和全局控制
15 点 N 的三维坐标;

步骤三、将激光跟踪仪 201 依次放置在站位 2、站位 3、……、站位 M-1 和站位 M, 每次移动激光跟踪仪 201 后重复步骤二, 至此, 完成所有站位对所有全局控制点的共同观测; 上述步骤二和步骤三中, 激光跟踪仪 201 在每个站位至少测量到 3 个以上的全局控制点;

步骤四、根据所有站位下、所有全局控制点的三维坐标计算所有站位的方位定向, 从而获得所有全局控制点和所有站位三维坐标迭代初值;

步骤五、利用所述激光跟踪仪 201 测得的站位与全局控制点的距离值作为约束建立优化目标方程, 进行平差解算, 其中采用动态加权的方法, 将所述全局控制点的三维坐标测量精度溯源至激光跟踪仪 201 干涉测距精度, 从而建立精密控制场; 其过程如下:

步骤 5-1) 激光跟踪仪 201 是球坐标测量系统, 其数学模型如图 5 所示, 其干涉测距值可表示为:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

利用式 (1) 根据各站位坐标系下全局控制点的三维坐标计算全局控制点在各站位坐标系下的干涉测距值 r_{ij} , 作为优化过程的测量值, 其中 i 表示第 i 个站位, $i=1, 2, \dots, M$,
30 j 表示第 j 个全局控制点, $j=1, 2, \dots, N$;

步骤 5-2) 以站位 1 的坐标系为全局坐标系, 完成各站位的方向定向, 求得全局控制点和激光跟踪仪所在站位在全局坐标系下的三维坐标, 分别为 $(x_j^0 \ y_j^0 \ z_j^0)$ 和

$(X_i^0 \ Y_i^0 \ Z_i^0)$ ，作为优化过程的初值；

步骤 5-2) 在全局坐标系下，建立冗余测距方程，表示为：

$$l_{ij} = \sqrt{(x_j - X_i)^2 + (y_j - Y_i)^2 + (z_j - Z_i)^2} \quad (2)$$

式 (2) 中， l_{ij} 为测距值，对式 (1) 在 $(x_j^0 \ y_j^0 \ z_j^0)$ 、 $(X_i^0 \ Y_i^0 \ Z_i^0)$ 处按泰勒一阶展

5 开，得：

$$\tilde{l}_{ij} = l_{ij}^0 + \frac{\partial l_{ij}}{\partial X_i} \Delta X_i + \frac{\partial l_{ij}}{\partial Y_i} \Delta Y_i + \frac{\partial l_{ij}}{\partial Z_i} \Delta Z_i + \frac{\partial l_{ij}}{\partial x_j} \Delta x_j + \frac{\partial l_{ij}}{\partial y_j} \Delta y_j + \frac{\partial l_{ij}}{\partial z_j} \Delta z_j \quad (3)$$

式 (3) 中， $(\Delta x_j \ \Delta y_j \ \Delta z_j)$ 和 $(\Delta X_i \ \Delta Y_i \ \Delta Z_i)$ 分别为全局控制点和跟踪仪站位的三维坐标的优化改正值，利用式 (3) 建立如下误差方程：

$$v l_{ij} = \tilde{l}_{ij} - r_{ij} \quad (4)$$

10 对于 M 个激光跟踪仪站位，N 个全局控制点，冗余误差方程组用下式表示：

$$V = A \Delta X - b \quad (5)$$

式 (5) 中，矩阵 A 是由式 (2) 的泰勒展开的一阶求导项所组成的大型稀疏矩阵，
 $\Delta X = [\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1, \Delta X_2, \Delta Y_2, \Delta Z_2, \dots, \Delta X_M, \Delta Y_M, \Delta Z_M, \Delta x_1, \Delta y_1, \Delta z_1, \Delta x_2, \Delta y_2, \Delta z_2, \dots, \Delta x_N, \Delta y_N, \Delta z_N]^T$
 $b = [r_{11} - l_{11}^0, r_{12} - l_{12}^0, \dots, r_{MN} - l_{MN}^0]^T$ ；

15 步骤 5-3) 根据激光跟踪仪的测距精度 σ_l 对向量 V 进行加权，并用下式表示：

$$P = \text{diag}((\sigma_l l_{11})^{-2}, (\sigma_l l_{12})^{-2}, \dots, (\sigma_l l_{MN})^{-2}) \quad (6)$$

步骤 5-4) 根据激光跟踪仪的测距及测角精度对向量 $[\Delta x_1, \Delta y_1, \dots, \Delta x_N, \Delta y_N, \Delta z_N]^T$ 进行初始加权，并根据定向精度对向量 $[\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1, \dots, \Delta X_M, \Delta Y_M, \Delta Z_M]^T$ 进行初始加权，由此得到向量 ΔX 的初始权矩阵 P_{X_0} ；

20 步骤 5-5) 当全局控制点个数 N 和激光跟踪仪测量站位数 M 满足 $MN > 3(M+N)$ 时，建立优化目标方程表示为下式：

$$\begin{cases} V^T P V = \min \\ \Delta X^T P_{X_0} \Delta X = \min \end{cases} \quad (7)$$

由于矩阵 A 是病态矩阵，矩阵条件数极大，平差解算时较小的误差就会引起解的失真，因此采用奇异值分解计算广义逆矩阵的方法，进行迭代解算。

25 在每一次迭代中，计算向量 ΔX^k 和协方差矩阵 Q_X^k ，其中，k 表示迭代次数；根据 Q_X^k

对 P_{x_0} 进行修正, 实现动态加权;

迭代至满足终止条件, 得到全局控制点的三维坐标值, 完成精密控制场的建立。

步骤六、在对接大部件周围布置多个发射站 101, 待发射站初始化后, 结合精密控制场完成发射站定向过程, 快速组成测量网络, 其步骤如下:

5 步骤 6-1) 使用与 1.5 英寸目标反射镜大小形状一致的接收器 104 (如图 4 所示) 替换全局控制点的目标反射镜 202, 替换过程中保证移动鸟巢 203 的位置不发生改变, 以确保全局控制点的三维坐标不发生变化;

步骤 6-2) 在测量空间内布置好发射站 101, 每两个发射站间至少有四个全局控制点可同时接收到两个发射站 101 的信号;

10 步骤 6-3) 待所有发射站 101 转速平稳后, 在测量空间多个位置摆放标准杆, 利用标准杆和全局控制点实现室内空间测量定位系统的定向过程, 从而组成测量网络。

步骤七、利用室内空间测量定位系统同时测量全局控制点和被测点, 以全局控制点的三维坐标作为约束, 进行平差解算, 求得被测点的三维坐标, 将被测点的三维坐标测量精度溯源至精密控制场, 如图 3, 其步骤如下:

15 步骤 7-1) 保持所有全局控制点处的接收器 (104) 和所有发射站 (101) 不发生改变;

步骤 7-2) 在测量空间内的被测点处放置好接收器 (104), 每个接收器 (104) 至少可同时接收到两个发射站 (101) 的信号;

20 步骤 7-3) 利用发射站 (101) 组成的测量网络同时测量全局控制点和被测点, 以全局控制点的三维坐标作为约束, 进行平差解算, 求得被测点的三维坐标, 将被测点的三维坐标测量精度溯源至精密控制场。

25 综上, 本发明根据激光跟踪仪干涉测距可直接溯源至激光波长的特点, 利用跟踪仪高精度测距作为约束, 获取现场装配型架上全局控制点更为精确的三维坐标, 构建精密控制场, 并将其作为工业现场高精度测量基准, 室内空间测量定位系统同时测量全局控制点和被测点, 并利用高精度平差解算, 将全局控制点的精度复现到被测点上, 实现现场测量的精度溯源, 提高了室内空间测量定位系统的测量精度。本发明具有以下优点:

弥补了室内空间测量定位系统因测量距离增大导致的精度损失;

结合精密控制场完成发射站定向过程, 提高室内空间测量定位系统的定向效率和精度

精密控制场为工业现场测量提供了测量基准, 实现了室内空间测量定位系统三维坐标测量的精度溯源;

30 在提高室内空间测量定位系统测量精度的同时, 不影响其工作效率。

尽管上面结合图对本发明进行了描述, 但是本发明并不局限于上述的具体实施方式, 上述的具体实施方式仅仅是示意性的, 而不是限制性的, 本领域的普通技术人员在本发明的启示下, 在不脱离本发明宗旨的情况下, 还可以作出很多变形, 这些均属于本发明的保护之内。

权利要求

1. 一种室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法，包括以下步骤：

步骤一、在测量空间内布设有 N 个移动鸟巢和 M 个站位，将激光跟踪仪（201）放置在
5 站位 1，

步骤二、将一目标反射镜（202）放在移动鸟巢 1 上形成全局控制点 1，测量该全局控制点 1 的三维坐标，以此类推，移动所述目标反射镜（202）到移动鸟巢 2、移动鸟巢 3、……、移动鸟巢 N-1、移动鸟巢 N，测量所有全局控制点 2、全局控制点 3、……、全局控制点 N-1 和全局控制点 N 的三维坐标；

步骤三、将激光跟踪仪（201）依次放置在站位 2、站位 3、……、站位 M-1 和站位 M，每次移动激光跟踪仪（201）后重复步骤二，至此，完成所有站位对所有全局控制点的共同观测；上述步骤二和步骤三中，激光跟踪仪（201）在每个站位至少测量到 3 个以上的全局控制点；

步骤四、根据所有站位下、所有全局控制点的三维坐标计算所有站位的方位定向，从而获得所有全局控制点和所有站位三维坐标迭代初值；

步骤五、利用所述激光跟踪仪（201）测得的站位与全局控制点的距离值作为约束建立优化目标方程，进行平差解算，其中采用动态加权的方法，将所述全局控制点的三维坐标测量精度溯源至激光跟踪仪（201）干涉测距精度，从而建立精密控制场；

步骤六、在测量空间内布置多个发射站（101），待发射站初始化后，结合精密控制场完成发射站定向过程，快速组成测量网络；

步骤七、利用室内空间测量定位系统同时测量全局控制点和被测点，以全局控制点的三维坐标作为约束，进行平差解算，求得被测点的三维坐标，将被测点的三维坐标测量精度溯源至精密控制场。

2. 根据权利要求 1 所述室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法，其中，步骤五建立精密控制场的步骤如下：

步骤 5-1) 根据各站位坐标系下全局控制点的三维坐标计算激光跟踪仪的干涉测距值 r_{ij} ，其中 i 表示第 i 个站位， $i=1, 2, \dots, M$ ，j 表示第 j 个全局控制点， $j=1, 2, \dots, N$ ；

步骤 5-2) 以站位 1 的坐标系为全局坐标系，完成各站位的方向定向，求得全局控制点和激光跟踪仪所在站位在全局坐标系下的三维坐标，分别为 $(x_j^0 \ y_j^0 \ z_j^0)$ 和 $(X_i^0 \ Y_i^0 \ Z_i^0)$ ，作为优化过程的初值；

步骤 5-2) 在全局坐标系下，建立冗余测距方程，表示为：

$$l_{ij} = \sqrt{(x_j - X_i)^2 + (y_j - Y_i)^2 + (z_j - Z_i)^2} \quad (1)$$

式 (1) 中， l_{ij} 为测距值，对式 (1) 在 $(x_j^0 \ y_j^0 \ z_j^0)$ 、 $(X_i^0 \ Y_i^0 \ Z_i^0)$ 处按泰勒一阶展开，得：

$$\tilde{l}_{ij} = l_{ij}^0 + \frac{\partial l_{ij}}{\partial X_i} \Delta X_i + \frac{\partial l_{ij}}{\partial Y_i} \Delta Y_i + \frac{\partial l_{ij}}{\partial Z_i} \Delta Z_i + \frac{\partial l_{ij}}{\partial x_j} \Delta x_j + \frac{\partial l_{ij}}{\partial y_j} \Delta y_j + \frac{\partial l_{ij}}{\partial z_j} \Delta z_j \quad (2)$$

式(2)中, $(\Delta x_j \ \Delta y_j \ \Delta z_j)$ 和 $(\Delta X_i \ \Delta Y_i \ \Delta Z_i)$ 分别为全局控制点和激光跟踪仪站位的三维坐标的优化改正值, 利用式(2)建立如下误差方程:

$$v l_{ij} = \tilde{l}_{ij} - r_{ij} \quad (3)$$

对于 M 个激光跟踪仪站位, N 个全局控制点, 冗余误差方程组用下式表示:

$$V = A \Delta X - b \quad (4)$$

式(4)中, 矩阵 A 是由式(1)的泰勒展开的一阶求导项所组成的大型稀疏矩阵, $\Delta X = [\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1, \Delta X_2, \Delta Y_2, \Delta Z_2, \dots, \Delta X_M, \Delta Y_M, \Delta Z_M, \Delta x_1, \Delta y_1, \Delta z_1, \Delta x_2, \Delta y_2, \Delta z_2, \dots, \Delta x_N, \Delta y_N, \Delta z_N]^T$

$$b = [r_{11} - l_{11}^0, r_{12} - l_{12}^0, \dots, r_{MN} - l_{MN}^0]^T;$$

步骤 5-3) 根据激光跟踪仪的测距精度 σ_l 对向量 V 进行加权, 并用下式表示:

$$P = \text{diag}((\sigma_l l_{11})^{-2}, (\sigma_l l_{12})^{-2}, \dots, (\sigma_l l_{MN})^{-2}) \quad (5)$$

步骤 5-4) 根据激光跟踪仪的测距及测角精度对向量 $[\Delta x_1, \Delta y_1, \dots, \Delta x_N, \Delta y_N, \Delta z_N]^T$ 进行初始加权, 并根据定向精度对向量 $[\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1, \dots, \Delta X_M, \Delta Y_M, \Delta Z_M]^T$ 进行初始加权, 由此得到向量 ΔX 的初始权矩阵 P_{X_0} ;

步骤 5-5) 当全局控制点个数 N 和激光跟踪仪测量站位数 M 满足 $MN > 3(M+N)$ 时, 建立优化目标方程表示为下式:

$$\begin{cases} V^T P V = \min \\ \Delta X^T P_{X_0} \Delta X = \min \end{cases} \quad (6)$$

采用奇异值分解计算广义逆矩阵的方法, 进行迭代解算;

在每一次迭代中, 计算向量 ΔX^k 和协方差矩阵 Q_X^k , 其中, k 表示迭代次数; 根据 Q_X^k 对

P_{X_0} 进行修正, 实现动态加权;

迭代至满足终止条件, 得到全局控制点的三维坐标值, 完成精密控制场的建立。

3. 根据权利要求 1 所述室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法, 其中, 所述目标反射镜(202)为 1.5 英寸目标反射镜, 步骤六中, 结合精密控制场完成发射站定向过程包括以下步骤:

步骤 6-1) 使用与 1.5 英寸目标反射镜大小形状一致的接收器(104)替换全局控制点的目标反射镜(202), 替换过程中保证移动鸟巢(203)的位置不发生移动, 以确保全局控制点的三维坐标不发生变化;

步骤 6-2) 在测量空间内布置好发射站(101), 每两个发射站间至少有四个全局控制点可同时接收到两个发射站(101)的信号;

步骤 6-3) 待所有发射站(101)转速平稳后, 在测量空间多个位置摆放标准杆, 利用标准杆和全局控制点实现室内空间测量定位系统的定向过程, 从而组成测量网络。

4. 根据权利要求 1 所述室内空间测量定位系统的精密控制场精度溯源方法, 其中, 步骤七中, 结合精密控制场完成发射站定向过程包括以下步骤:

步骤 7-1) 保持所有全局控制点处的接收器 (104) 和所有发射站 (101) 不发生移动;

5 步骤 7-2) 在测量空间内的被测点处放置好接收器 (104), 每个接收器 (104) 至少可同时接收到两个发射站 (101) 的信号;

步骤 7-3) 利用发射站 (101) 组成的测量网络同时测量全局控制点和被测点, 以全局控制点的三维坐标作为约束, 进行平差解算, 求得被测点的三维坐标, 将被测点的三维坐标测量精度溯源至精密控制场。

10

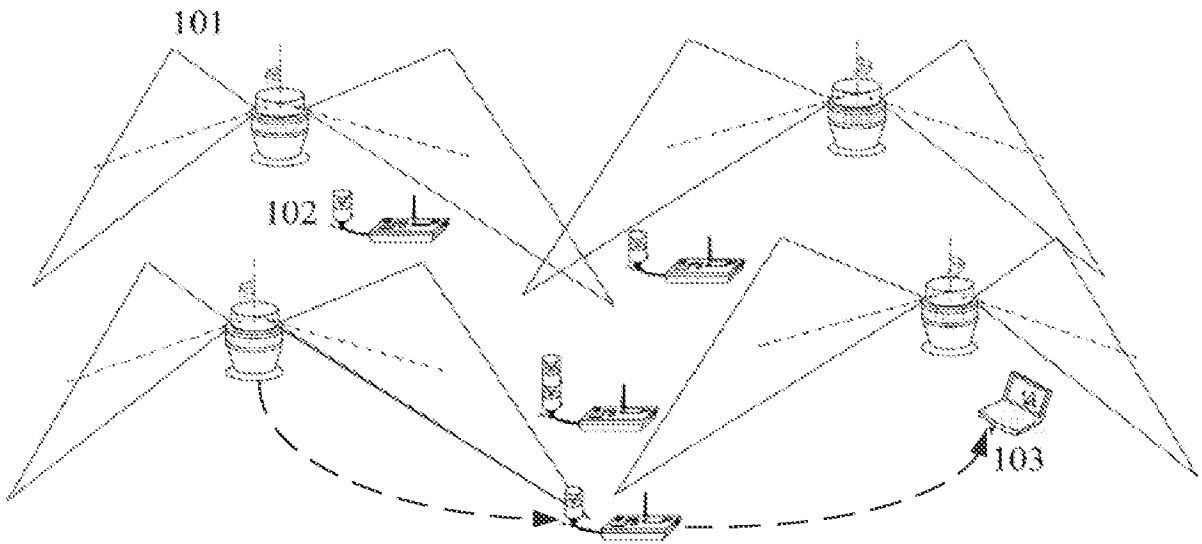


图 1

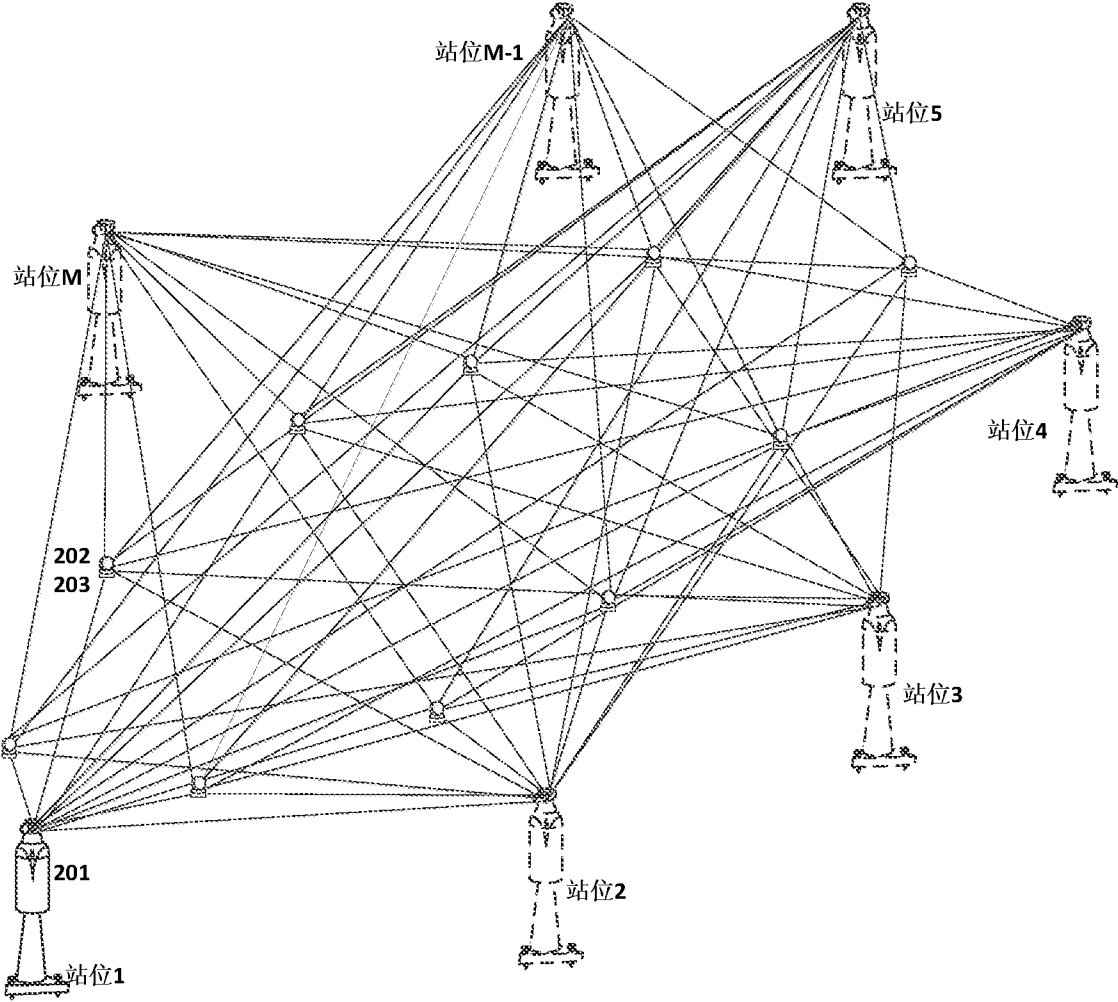


图 2

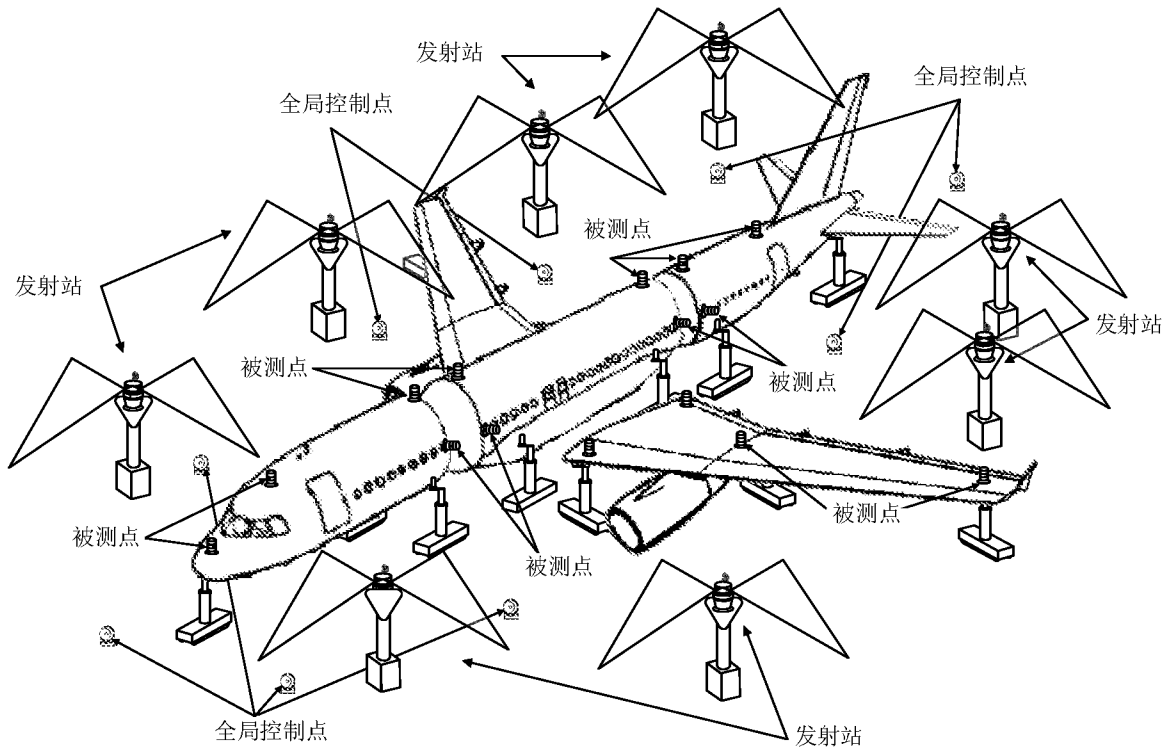


图 3

接收器
104



图 4

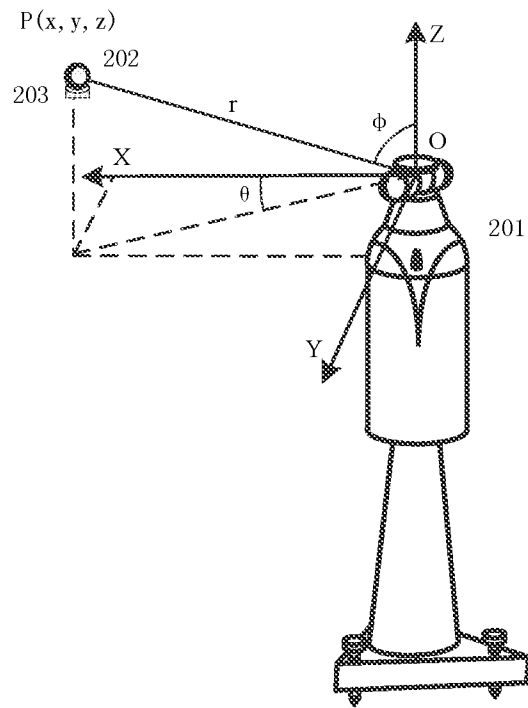


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2014/074058

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 11/00 (2006.01) i; G01B 11/03 (2006.01) i; G01B 11/26 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B 11

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CPRSABS, CNABS, CNTXT, CNKI: precision, control field, large scale, measure, test, indoor, space, locate, system, global control point, laser tracking, three-dimensional, coordinate

VEN: wMPS, workspace measurement positioning system, large scale, control, indoor, space, position+, laser, trac+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103591891 A (TIANJIN UNIVERSITY), 19 February 2014 (19.02.2014), claims 1-4	1-4
Y	CN 102997846 A (SHENYANG AIRCRAFT CORPORATION), 27 March 2013 (27.03.2013), description, paragraphs 9-10, and figure 1	1, 3-4
Y	XIONG, Zhi et al., "Application of Workspace Measurement and Positioning System in Aircraft Manufacturing Assembly", DIGITAL INSPECTION TECHNOLOGY FOR AIRCRAFT, no. 21, 31 December 2011 (31.12.2011), sections 2-3, and figures 2-4	1, 3-4
A	CN 102374847 A (TIANJIN UNIVERSITY), 14 March 2012 (14.03.2012), the whole document	1-4
A	CN 101644563 A (BEIJING INFORMATION SCIENCE & TECHNOLOGY UNIVERSITY), 10 February 2010 (10.02.2010), the whole document	1-4
A	US 2004/0137955 A1 (ENGSTROM, G.E. et al.), 15 July 2004 (15.07.2004), the whole document	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 18 May 2014 (18.05.2014)	Date of mailing of the international search report 12 June 2014 (12.06.2014)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer PENG, Zhiping Telephone No.: (86-10) 62085741

International application No.
PCT/CN2014/074058

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2014/074058

A. 主题的分类

G01B 11/00(2006.01)i; G01B 11/03(2006.01)i; G01B 11/26(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01B11

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CPRSABS, CNABS, CNTXT, CNKI: 精密, 精度, 控制场, 大尺度, 测量, 测试, 室内, 空间, 定位, 系统, 全局控制点, 激光跟踪, 三维, 坐标 VEN: wMPS, workspace measurement positioning syste, large scale, control, indoor, space, position+, laser, trac+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 103591891A (天津大学) 2014年 2月 19日 (2014 - 02 - 19) 权利要求1-4	1-4
Y	CN 102997846A (沈阳飞机工业集团有限公司) 2013年 3月 27日 (2013 - 03 - 27) 说明书第9-10段, 附图1	1, 3-4
Y	熊芝等. "室内空间测量定位系统在飞机制造装配中的应用" 飞机数字化检测技术, 第21期卷, 2011年 12月 31日 (2011 - 12 - 31), 第2-3节, 附图2-4	1, 3-4
A	CN 102374847A (天津大学) 2012年 3月 14日 (2012 - 03 - 14) 全文	1-4
A	CN 101644563A (北京信息科技大学) 2010年 2月 10日 (2010 - 02 - 10) 全文	1-4
A	US 2004/0137955A1 (ENGSTROM G E ETAL.) 2004年 7月 15日 (2004 - 07 - 15) 全文	1-4

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2014年 5月 18日

国际检索报告邮寄日期

2014年 6月 12日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
北京市海淀区蓟门桥西土城路6号
100088 中国

传真号 (86-10)62019451

授权官员

彭志萍

电话号码 (86-10)62085741

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/074058

检索报告引用的专利文件		公布日 (年/月/日)	同族专利		公布日 (年/月/日)
CN	103591891A	2014年 2月 19日	无		
CN	102997846A	2013年 3月 27日	无		
CN	102374847A	2012年 3月 14日	CN	102374847B	2013年 7月 24日
CN	101644563A	2010年 2月 10日	CN	101644563B	2010年 12月 08日
US	2004/0137955A1	2004年 7月 15日	US	7212808B2	2007年 5月 01日