



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104330077 B

(45)授权公告日 2017.04.05

(21)申请号 201410354619.2

审查员 王晶晶

(22)申请日 2014.07.24

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104330077 A

(43)申请公布日 2015.02.04

(73)专利权人 中国人民解放军信息工程大学

地址 450052 河南省郑州市陇海中路66号

(72)发明人 范百兴 杨凡 李广云 杨振

李丛 邓勇

(74)专利代理机构 郑州睿信知识产权代理有限公司

公司 41119

代理人 胡泳棋

(51)Int.Cl.

G01C 17/00(2006.01)

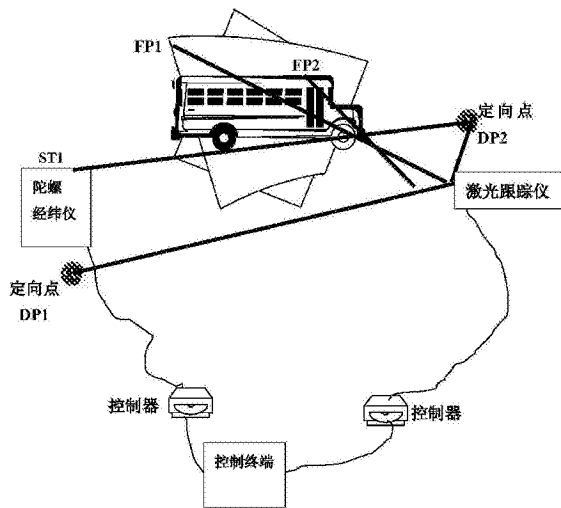
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种基于两点对中模型的联合测量方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于两点对中模型的联合测量方法,属于工程测量技术领域。本发明首先采用陀螺经纬仪精确测量空间两个定向点连线的真北方位 $\alpha_1$ ;然后采用激光跟踪仪测量上述两个定向点在整平坐标系下的坐标值,并计算这两点连线在该坐标系下的方位角度值 $\beta_1$ ;再根据得到的 $\alpha_1$ 和 $\beta_1$ 计算激光跟踪仪坐标系相对于真北坐标系的转换参数 $(0,0,0,0,0,\delta)$ ;最后利用激光跟踪仪测量发射车目标点的坐标值,反算目标点连线在仪器坐标系下的方位,根据转换参数计算目标点连线的真北方位。本发明通过两点对中的坐标系转换模型,将激光跟踪仪坐标系和陀螺经纬仪经纬仪坐标系实现统一,在激光跟踪仪测量坐标系下,直接测量得到模型发射车的真北方位,该方法简单易行。



1. 一种基于两点对中模型的联合测量方法,其特征在于,该联合测量方法包括以下步骤:

1) 采用陀螺经纬仪精确测量空间两个定向点连线的真北方位 $\alpha_1$ ,所述两个定向点中的一个定向点是陀螺经纬仪的中心点,另一个定向点是空间任一点;

2) 采用激光跟踪仪测量上述两个定向点在激光跟踪仪整平坐标系下的坐标值, $(x_1, y_1, z_1)$ 和 $(x_2, y_2, z_2)$ ,并计算这两点连线在该坐标系下的方位角度值 $\beta_1$ ;

3) 根据得到的 $\alpha_1$ 和 $\beta_1$ 计算激光跟踪仪整平坐标系相对于真北坐标系的转换参数 $(0, 0, 0, 0, \vartheta)$ , $\vartheta$ 为激光跟踪仪整平坐标系+X轴与真北方向在XOY平面内的夹角;

4) 利用激光跟踪仪测量发射车上的一组目标点的坐标值,反算目标点连线在激光跟踪仪整平坐标系下的方位,根据转换参数计算目标点连线的真北方位。

2. 根据权利要求1所述的基于两点对中模型的联合测量方法,其特征在于,所述步骤1)中两个定向点连线的真北方位 $\alpha_1$ 测量过程如下:

A) 在已知基线上对陀螺经纬仪进行常数标定,并将其移到测站位置;

B) 用陀螺经纬仪铅垂线上的任一点取代陀螺经纬仪的中心点作为第一定向点;

C) 启动陀螺经纬仪进行寻北定向测量,照准第二定向点解算出第二定向点的真北方位,从而确定两个定向点连线的真北方位 $\alpha_1$ 。

3. 根据权利要求2所述的基于两点对中模型的联合测量方法,其特征在于,所述步骤B)可采用以下两种方式实现,

第一种方式是在地面设置靶座,其中心就是第一定向点;第二种方式是设计特殊螺杆工装,螺杆的一端可拧到陀螺仪底部中心螺孔,另一端固定CCR靶座,这保证陀螺仪铅垂线过CCR靶球中心。

4. 根据权利要求2所述的基于两点对中模型的联合测量方法,其特征在于,所述的陀螺经纬仪采用Gyromat下架式陀螺经纬仪,由陀螺仪和经纬仪构成。

5. 根据权利要求4所述的基于两点对中模型的联合测量方法,其特征在于,所述的测量方法还包括对所存在的发射车辆方位角测量误差和垂直角误差的校正,其中目标车辆方位角测量误差 $m = \pm\sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2}$ , $m_1$ 为陀螺经纬仪对中误差, $m_2$ 为陀螺经纬仪定向测量误差, $m_3$ 为激光跟踪仪测量定向边误差, $m_4$ 为激光跟踪仪测量目标车辆引起的定向误差,垂直角误差包括激光跟踪仪自身的整平误差和激光跟踪仪高程坐标测量误差。

6. 根据权利要求5所述的基于两点对中模型的联合测量方法,其特征在于,所述陀螺经纬仪定向测量误差 $m_2$ 为:

$$m_2 = \pm\sqrt{a^2 + b^2}$$

其中a为陀螺仪自身的定向误差,就Gyromat3000陀螺经纬仪来说,其定向测量误差的标称值为 $\pm 3.2''$ ;b为经纬仪照准目标的偏差,就徕卡0.5''级电子经纬仪来说,经纬仪照准靶标的误差为 $\pm 0.5''$ 。

## 一种基于两点对中模型的联合测量方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于两点对中模型的联合测量方法,属于工程测量技术领域。

### 背景技术

[0002] 当前的真北方位测量方法主要有陀螺定向测量和天文测量,这些方法特点在于经过长时间大量的重复测量可标定出一条高精度的方位边,缺点在于:一、每一次测量需要多测回的大量重复观测,时间长,对于需要快速标定多条方位边难以实现;二、每一次只能进行一条方位边的标定,该方位边是仪器对中与目标点的连线,这就意味着对于发射车上无法进行仪器对中的目标点,该类方法是不能直接进行真北方位测量的。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种基于两点对中模型的联合测量方法,以解决上述现有真北方位测量方法的缺陷。

[0004] 本发明为解决上述技术问题而提供一种基于两点对中模型的联合测量方法,该联合测量方法包括以下步骤:

[0005] 1) 采用陀螺经纬仪精确测量空间两个定向点连线的真北方位 $\alpha_1$ ;

[0006] 2) 采用激光跟踪仪测量上述两个定向点在整平坐标系下的坐标值,  $(x_1, y_1, z_1)$  和  $(x_2, y_2, z_2)$ , 并计算这两点连线在该坐标系下的方位角度值 $\beta_1$ ;

[0007] 3) 根据得到的 $\alpha_1$ 和 $\beta_1$ 计算激光跟踪仪坐标系相对于真北坐标系的转换参数  $(0, 0, 0, 0, 0, \theta)$ ,  $\theta$ 为激光跟踪仪整平坐标系+X轴与真北方向在XOY平面内的夹角;

[0008] 4) 利用激光跟踪仪测量发射车目标点的坐标值,反算目标点连线在仪器坐标系下的方位,根据转换参数计算目标点连线的真北方位。

[0009] 所述步骤1)中的两个定向点中的一个定向点是陀螺经纬仪的中心点,另一个定向点是空间任一点。

[0010] 所述步骤1)中两个定向点连线的真北方位 $\alpha_1$ 测量过程如下:

[0011] A) 在已知基线上对陀螺经纬仪进行常数标定,并将其移到测站位置;

[0012] B) 用陀螺经纬仪铅垂线上的任一点取代陀螺经纬仪的中心点作为第一定向点;

[0013] C) 启动陀螺经纬仪进行寻北定向测量,照准第二定向点解算出第二定向点的真北方位,从而确定两个定向点连线的真北方位 $\alpha_1$ 。

[0014] 所述步骤B)可采用以下两种方式实现,

[0015] 第一种方式是在地面设置靶座,其中心就是第一定向点;第二种方式是设计特殊螺杆工装,螺杆的一端可拧到陀螺仪底部中心螺孔,另一端固定CCR靶座,这保证陀螺仪铅垂线过CCR靶球中心。

[0016] 所述的陀螺经纬仪采用Gyromat下架式陀螺经纬仪,由陀螺仪和经纬仪构成。

[0017] 所述的测量方法还包括对所存在的发射车辆方位角测量误差和垂直角误差的校正,其中目标车辆方位角测量误差  $m = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2}$ ,  $m_1$ 为陀螺经纬仪对中误差,  $m_2$

为陀螺经纬仪定向测量误差,  $m_3$  为激光跟踪仪测量定向边误差,  $m_4$  为激光跟踪仪测量目标车辆引起的定向误差, 垂直角误差包括激光跟踪仪自身的整平误差和激光跟踪仪高程坐标测量误差。

[0018] 所述陀螺经纬仪定向测量误差  $m_2$  为:

$$[0019] \quad m_2 = \pm \sqrt{a^2 + b^2}$$

[0020] 其中  $a$  为陀螺仪自身的定向误差, 就 Gyromat3000 陀螺经纬仪来说, 其定向测量误差的标称值为  $\pm 3.2''$ ;  $b$  为经纬仪照准目标的偏差, 就徕卡  $0.5''$  级电子经纬仪来说, 经纬仪照准靶标的误差为  $\pm 0.5''$ 。

[0021] 本发明的有益效果是: 本发明首先采用陀螺经纬仪精确测量空间两个定向点连线的真北方位  $\alpha_1$ ; 然后采用激光跟踪仪测量上述两个定向点在整平坐标系下的坐标值, 并计算这两点连线在该坐标系下的方位角度值  $\beta_1$ ; 再根据得到的  $\alpha_1$  和  $\beta_1$  计算激光跟踪仪坐标系相对于真北坐标系的转换参数  $(0, 0, 0, 0, 0, \theta)$ ; 最后利用激光跟踪仪测量发射车目标点的坐标值, 反算目标点连线在仪器坐标系下的方位, 根据转换参数计算目标点连线的真北方位。本发明通过两点对中的坐标系转换模型, 将激光跟踪仪坐标系和陀螺经纬仪经纬仪坐标系实现统一, 在激光跟踪仪测量坐标系下, 直接测量得到模型发射车的真北方位, 该方法简单易行。

## 附图说明

[0022] 图1是本发明测量方法的流程图;

[0023] 图2是本发明的测量原理图;

[0024] 图3是陀螺经纬仪对中误差原理示意图。

## 具体实施方式

[0025] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步的说明。

[0026] 下面以计算发射车目标点真北位的主要过程为例来说明本发明具体实施过程, 如图1所示, 首先采用陀螺经纬仪精确测量空间定向点的真北方位  $\alpha_i$ ; 然后激光跟踪仪精确整平, 利用激光跟踪仪联机测量软件测量定向点在仪器坐标系下的坐标值  $(x_i \ y_i \ z_i)$ , 并计算定向点在激光跟踪仪坐标系中的方位角度值  $\beta_i$ ; 根据定向点对应的不同方位值  $(\alpha_i \ \beta_i)$ , 解算得到陀螺经纬仪坐标系与激光跟踪仪坐标系的转换参数  $(0, 0, 0, 0, 0, \theta)$ , 此处最重要的参数是两者在二维平面 XOY 内的旋转角度  $\theta$ 。之后, 激光跟踪仪通过联机测量软件测量发射车目标点的坐标值, 反算目标点连线在仪器坐标系下的方位, 最后根据坐标系转换参数即可得到目标点连线的真北方位。

[0027] 本发明所需的最低硬件配置: 300MHz 速度、32M 内存以上、带有 2 个以上 RS232 串口配置的微机 (台式机便携机均可, 速度越快越好), 要求主板、总线及端口完好, 工作正常, 无硬件上的问题, 硬盘应有 50M 以上的空间。AT901 激光跟踪仪 1 台, Gyromat3000 陀螺经纬仪 1 台, CCR1.5 靶标球 1 个, CCR 靶座 2 个。软件环境为 Window XP 操作系统、VS2008 软件开发系统以及激光跟踪仪联机测量软件。

[0028] 本发明基于两点对中模型的联合测量方法的具体的实施过程如下:

[0029] 1. 采用陀螺经纬仪精确测量空间两个定向点连线的真北方位 $\alpha_1$ , 两个定向点中的一个定向点是陀螺经纬仪的中心点, 另一个定向点是空间任一点, 此处以发射车上某一点为第2个定向点 $DP_2$ , 原理如图2所示。

[0030] 首先, 陀螺经纬仪在已知基线上进行常数标定, 然后搬到测站位置。 $ST_1$ 是仪器中心点, 是虚拟的不可测量点。 $ST_1$ 可以用仪器铅垂线上的任一点 $DP_1$ 取代, 因为两者与 $DP_2$ 连线在水平面上投影的北方位是一致的。 $DP_1$ 有两种比较容易实现的设计方案, 其一是在地面设置靶座, 其中心即为 $DP_1$ ; 其二是设计特殊螺杆工装, 螺杆的一端可拧到陀螺仪底部中心螺孔, 另一端固定CCR靶座, 这样就能保证陀螺仪铅垂线过CCR靶球中心。陀螺经纬仪启动寻北定向测量, 寻北定向测量完成后, 经纬仪照准第2定向点即可解算定向点的真北方位。仪器整平后,  $ST_1$ 与 $DP_1$ 在同一铅垂线上, 不考虑对中误差的情况下, 两点与 $DP_2$ 的连线真北方位是一致的。陀螺经纬仪测量定向点并解算得到真北方位后, 也就是得到了 $DP_1$  ( $ST_1$ )、 $DP_2$ 连线与真北方位的夹角 $\alpha_1$ 。

[0031] 2. 建立激光跟踪仪测量系统, 连接气象传感器MeteoStation、水平仪Nivel230等外接设备, 开机预热, 然后利用激光跟踪仪联机测量软件联机。仪器初始化, 测量水平面并建立整平坐标系, 然后测量2个定向点并将坐标值保存到整平下。激光跟踪仪测量得到两个定向点在整平坐标系下的坐标值,  $DP_1(x_1, y_1, z_1)$  和  $DP_2(x_2, y_2, z_2)$ 。由此可以反算两点连线在该坐标系下的方位角度值 $\beta_1$ , 以+X为起始零方位。

[0032] 3. 由 $\alpha_1$ 和 $\beta_1$ 可以得到激光跟踪仪坐标系相对于真北坐标系的转换参数 $(0, 0, 0, 0, 0, \theta)$ ,  $\theta$ 为激光跟踪仪整平坐标系+X轴与真北方向在XOY面内的夹角。

[0033] 4. 激光跟踪仪测量发射车上的一组目标点, 得到其坐标值分别为 $FP_1(x_3, y_3, z_3)$ 和 $FP_2(x_4, y_4, z_4)$ 。反算两点连线在整平坐标系下的方位角度值 $\beta_2$ , 由此根据两坐标系转换参数 $\theta$ 即可计算得到 $FP_1$ 、 $FP_2$ 连线在真北坐标系下的方位角, 即真北方位。

[0034] 5. 在进行上述测量中, 要对测量过程中产生的误差进行估算, 所产生的误差主要包括方位角测量误差和垂直角测量误差。

[0035] 本发明所使用的Gyromat3000陀螺经纬仪属于下架式陀螺经纬仪, 主要由陀螺仪和经纬仪组成, 陀螺经纬仪在对中测量时, 实际上存在四个中心: 经纬仪中心、陀螺仪寻北摆动中心、陀螺经纬仪对点器中心(经严格调校后视为与陀螺仪中心在同一条铅垂线上)、地面标志中心, 因此下架式陀螺经纬仪的对中误差即为上述四个中心的偏心误差, 主要包括陀螺经纬仪对点器的对中误差和陀螺经纬仪对点器的偏心度。

[0036] (1) 陀螺经纬仪对中误差

[0037] 陀螺经纬仪的对中误差属于矢量, 即既有方向又有大小, 如图3所示, 陀螺经纬仪测量定向点的真北方位仪器中心点 $ST_1$ 到Q的连线, 同时也是 $ST_1$ 铅垂线在地面投影点 $P_1$ 与Q连线的真北方位。当陀螺经纬仪不含对中误差时, 激光跟踪仪所测点也是 $P_1$ 、Q, 两者前后一致, 为同一条方位边。当陀螺经纬仪存在对中误差时, 陀螺经纬仪的方位边为 $P_1Q$ , 而激光跟踪仪所测的方位边是 $P_2Q$ , 两者存在一个夹角 $\theta$ ,  $\theta$ 的大小由对中误差 $\Delta d$ 决定。由图3可知, 由对中误差 $\Delta d$ 引起的方位边误差 $\theta$ 近似等于 $\Delta d/D$ ,  $D$ 为 $ST_1$ 在地面的投影点 $P_1$ 到定向点Q的距离。对中误差对定向精度的影响如表1所示。

[0038] 就目前的Gyromat3000陀螺经纬仪来说, 当采用激光对点器对中地面的球棱镜靶标 $DP_1$ 时, 对中误差约为0.5mm, 因此对室内10m边长来说, 陀螺经纬仪对中所引起的定向误

差约为10",即:

[0039]  $m_1 = \pm 10''$

[0040] 表1

[0041]

$\Delta d$	0.2mm	0.5mm	1.0mm	1.5mm	2.0mm
D					
10m	4.1"	10.3"	20.6"	30.9"	41.3"
20m	2.1"	5.2"	10.3"	15.5"	20.6"
30m	1.4"	3.4"	6.9"	10.3"	13.8"
50m	0.8"	2.1"	4.1"	6.2"	8.3"
100m	1.7"	1.0"	2.1"	3.1"	4.1"
150m	0.3"	0.7"	1.4"	2.1"	2.8"

[0042] (2) 陀螺经纬仪定向测量误差

[0043] 陀螺经纬仪定向测量误差包括以下两部分:

[0044] (a) 陀螺仪自身的定向误差,就Gyromat3000陀螺经纬仪来说,其定向测量误差的标称值为 $\pm 3.2''$ 。

[0045] (b) 经纬仪照准目标的偏差,就徕卡0.5"级电子经纬仪来说,经纬仪照准靶标的误差为 $\pm 0.5''$ 。

[0046] 综合上述两项误差,陀螺经纬仪定向测量误差为:

[0047]  $m_2 = \pm \sqrt{3.2^2 + 0.5^2} = \pm 3.2''$

[0048] (3) 激光跟踪仪测量定向边误差

[0049] AT901-LR是目前测量功能最先进、测量精度最高的激光跟踪仪,其主要测量参数如表2所示。

[0050] 表2

点位测量精度	$\pm(10\mu\text{m}+5\mu\text{m}/\text{m})$	典型测量范围
	$\pm(15\mu\text{m}+6\mu\text{m}/\text{m})$	全测程
测量范围	0m~80m	
数据采集速度	3000 点/秒	计算机实际获取的频率要大大降低,在几百个点每秒
跟踪速度	6m/s	
供电方式	220V 交流电	

[0052] 按照激光跟踪仪给定的精度指标,可以得到在空间不同距离上的测点精度,此处

举几个例子,将测点的距离误差概算到角度误差 $\theta = \frac{\rho'' m_P}{D}$ ,如表3所示。

[0053] 表3

距离 (m)	点位误差 (mm)	概算测角误差 (")	方位边测量 误差 (")
5	0.045	1.86	3.7
10	0.075	1.55	3.1
15	0.105	1.44	2.8
20	0.135	1.39	2.8
30	0.195	1.34	2.7
50	0.315	1.30	2.6

[0055] 综合分析来看,在室内10m范围内,激光跟踪仪测量定向边引起的方位测量误差小于 $\pm 4.0''$ ,即:

[0056]  $m_3 = \pm 4.0''$

[0057] (4) 激光跟踪仪测量发射车引起的定向误差

[0058] 激光跟踪仪在测量发射车时,由于点位误差的存在,也会导致发射车存在方位测量的误差,其影响规律如表4所示,则按照发射车5m的长度计算,则该项误差为:

[0059]  $m_4 = \pm 4.0''$

[0060] 需要指出的是,此处的5m是指发射车两点在水平面内的投影的长度,当发射车的垂直角度增大时,方位测量误差会进一步增大。

[0061] (5) 其他误差

[0062] 除了上述四项主要误差外,方位测量的误差还包括球棱镜偏心误差、靶座偏心误差等因素,该类误差的影响较小,可以忽略。

[0063] (6) 发射车方位测量的总误差

[0064] 综合分析,发射车方位测量的总误差为:

[0065]  $m = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2} = \pm 12.0''$

[0066] 垂直角测量误差的估算

[0067] 发射车垂直角测量误差的来源相对简单,主要包括激光跟踪仪自身的整平误差和激光跟踪仪高程坐标测量误差。

[0068] (1) 激光跟踪仪自身的整平误差

[0069] 目前,AT901系列激光跟踪仪采用Nivel230的整平精度为 $\pm 1.0''$ 。

[0070] (2) 激光跟踪仪高程坐标测量误差

[0071] 激光跟踪仪测量XX车的垂直角公式如下:

[0072] 
$$\alpha = a \tan\left(\frac{Z_{DP2} - Z_{DPI}}{\sqrt{(X_{DP2} - X_{DPI})^2 + (Y_{DP2} - Y_{DPI})^2}}\right) = a \tan\left(\frac{Z_{DP2} - Z_{DPI}}{D}\right)$$

[0073] 对上式线性化即可得到垂直角受坐标的影响规律:

$$[0074] \quad m_{\alpha}^2 = 2 \left( \frac{D^2}{D^2 + (Z_{DP2} - Z_{DP1})^2} \right)^2 m_z^2 + \left( \frac{1}{D^2 [(Z_{DP2} - Z_{DP1})^2 + D^2]} \right)^2 m_S^2$$

[0075] 由于激光跟踪仪轴系误差的存在,大量的时间数据表明,目前AT901系列激光跟踪仪的Z坐标测量误差约为总点位误差的1/2~2/3,参照表4可以得到Z坐标即其所引起的垂直角误差,如表4所示。

[0076] 表4

距离 (m)	高差 (m)	垂直角测量误差 (")
5	2.5	1.4
	5	0.9

[0078] 综合上述分析可以得到,发射车的垂直角误差约为:

$$[0079] \quad m_{\text{垂直}} = \pm 1.8''$$

[0080] 本发明通过两点对中的坐标系转换模型,将激光跟踪仪坐标系和陀螺经纬仪经纬仪坐标系实现统一,在激光跟踪仪测量坐标系下,直接测量得到模型发射车的真北方位,并对测量过程中产生的方位角测量误差和垂直角测量误差进行补偿计算,提高在激光跟踪仪测量坐标系下直接测量发射车真北方位的精度。



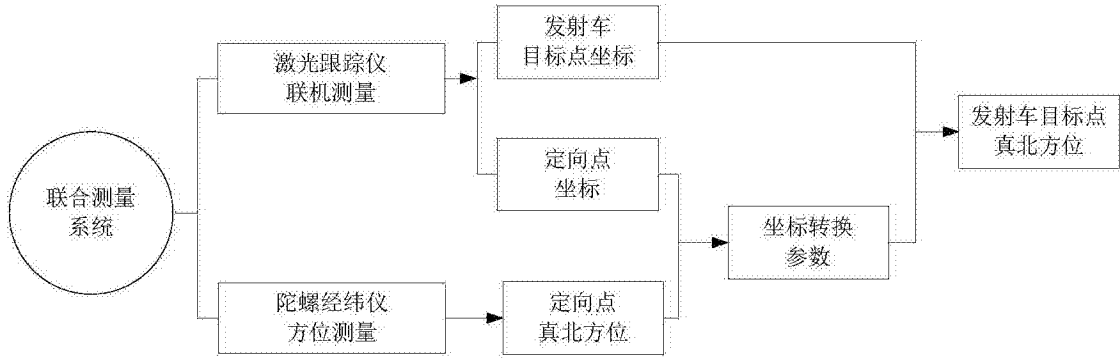


图1

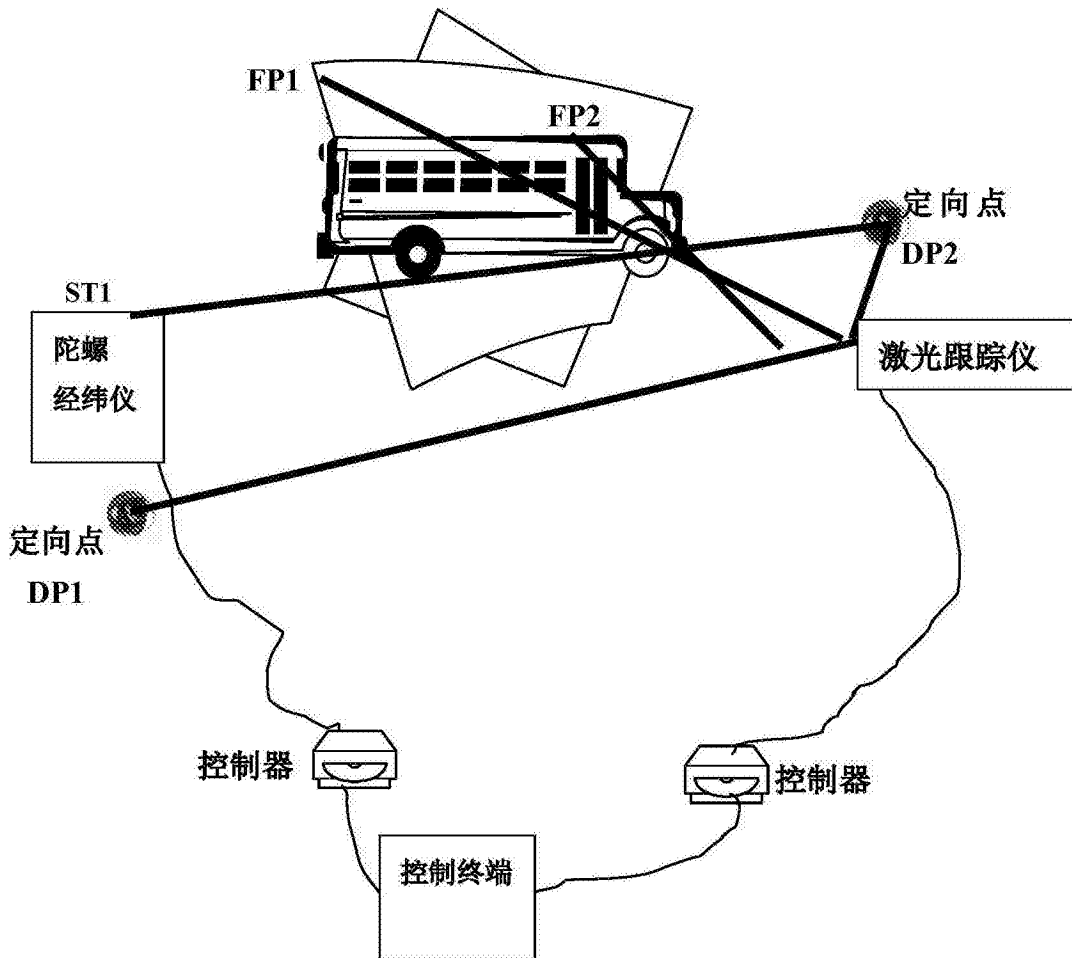


图2

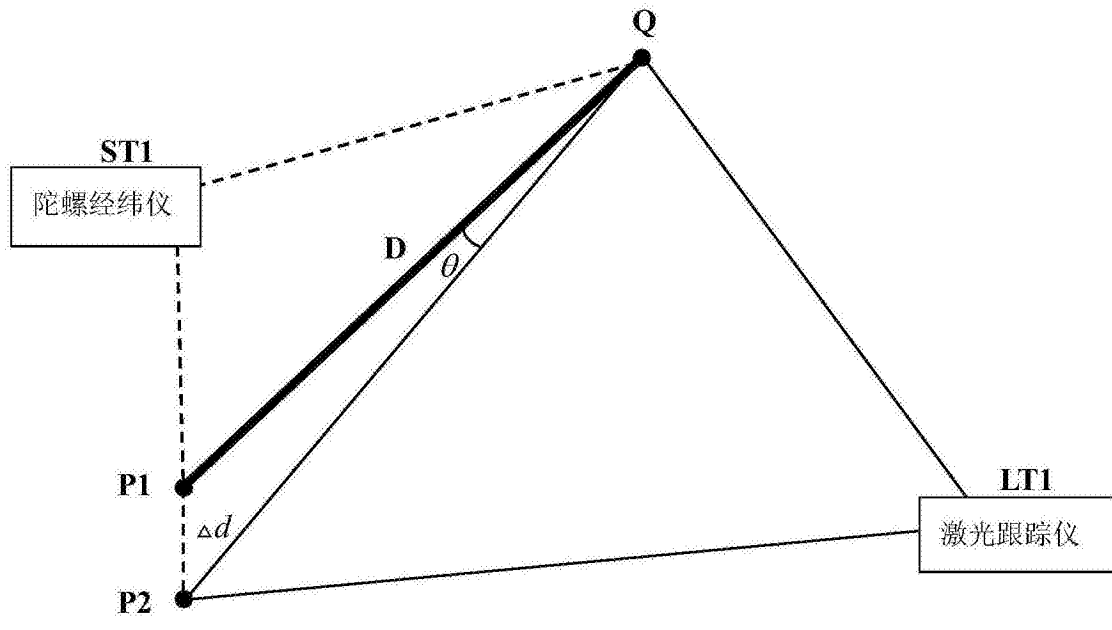


图3