

一种空中定位新方法分析

王立升 于德利

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 新方法与其它定位方法进行了比较;对其采用的原理及公式作了说明;就此对该方法进行了详细论述。最后指出该定位方法的近期和远期应用前景。

关键词: 定位;激光扫描系统;接收系统;脉冲周期

1 引言

目前正在应用和不断改进的定位系统有全球定位系统(GPS)和惯性导航系统等^[1]。其中全球定位系统(GPS)采用无线电测距体制。无线电测距的基本原理是测定电波传播时间(或称信号的延迟) τ ,从而得到距离观测量 $\rho=c\tau$,其中 c 是电波传播速度^[2]。惯性导航的基本原理是以牛顿力学定律为基础的。在载体内部测量载体加速度,经积分运算得到载体速度和位置导航信息。其它的如多普勒导航系统,VOR/DM 近距导航系统等均采用无线电波作为传递信息媒介^[1]。现在我们研究的定位方法采用的是激光扫描传递信息来确定位置。目前的定位系统均未采用此种激光扫描定位。如果在全球定位系统(GPS)基础上采用此种方法进行定位将会大大提高定位精度和简化定位设备。

2 系统工作原理

要确定地面上接收器所在的位置,则首先要确定坐标系。由激光扫描系统原理知道其空间位置信息通过其它手段给定,其坐标系的信息已包含扫描系统中。要使接收器得到准确的位置坐标值,必须把通过其它手段给定的扫描光束瞄准点位置信息传递到接收器。并且此种激光波长在大气透过窗口内。在此条件下接收器对所接收到的激光扫描信号进行处理得到位置信息。

此定位系统可以分为扫描系统和接收系统两部分。扫描系统发射经空间和时间编码的扫描光条,接收系统(即接收器)接收光电变换得到的时间信号,按解码公式处理此时间信号得到位置信息。

2.1 扫描系统分析

扫描系统包括发射和调整轴线两部分。

2.1.1 发射扫描光条部分

首先我们知道直角坐标系 $x-y$ 轴绕坐标原点顺时针旋转 θ 角得新坐标系 $x'-y'$, 两坐标系中同一点 R 旋转前的坐标 (x, y) 与旋转后的坐标 (x', y') 关系如下:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (1)$$

发射系统的结构如图 1a; 接收器收到的光信号如图 1b:

图中:

S 是发射光条 AB (或 CD) 的发射源,

x, y 是探测器 R 相对于坐标原点 $O(0,0)$ 的位置,

L_0 为扫描地面范围的正方形边长,

t_1, t_2, t_3, t_4 是接收器接收到光信号的时刻.

如图 1a 所示我们假设:

扫描光条匀速扫过 L_0 所用的时间为 T_0 ;

R 点在 $x-y$ 坐标系中坐标为 (x, y) ;

R 点在 x_1-y_1 坐标系中坐标为 (x_1, y_1) ;

R 点在 x_2-y_2 坐标系中坐标为 (x_2, y_2) ;

x_1-y_1 为 $x-y$ 顺时针旋转 60° 得到;

x_2-y_2 为 $x-y$ 逆时针旋转 60° 得到.

当扫描光条在 x_1-y_1 坐标系中沿 x_1 轴扫过 L_0 后, 马上沿 y_1 轴扫过 L_0 . 接收器 R 接收到光信号时刻 t_1, t_2 为:

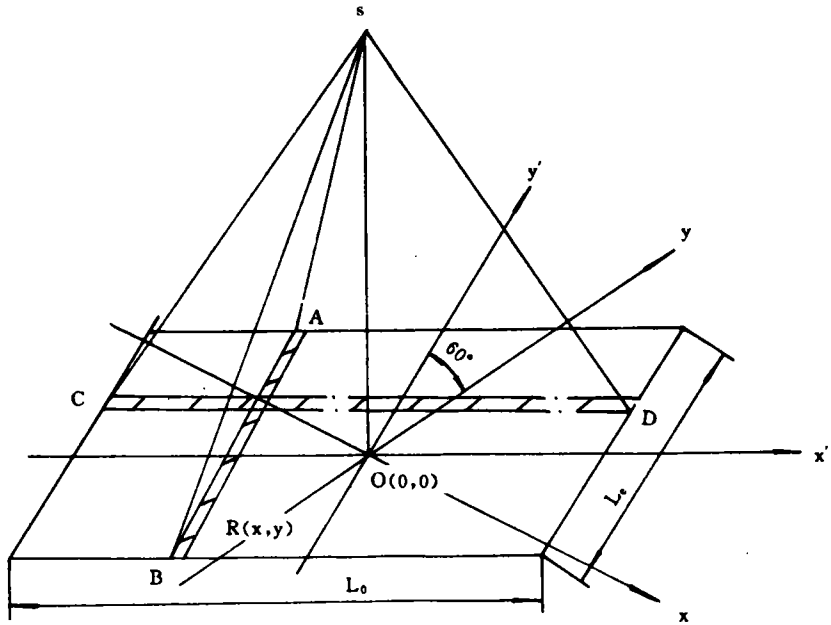


图 1a 激光扫描原理图

Fig. 1a Schematic diagram of the laser scanning system

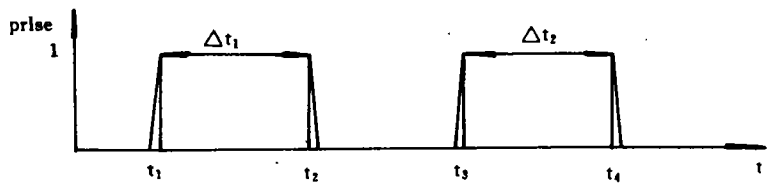


图 1b 接收脉冲信号

Fig. 1b Sketch map of pulse receiving

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= \frac{L_0/2+x_1}{L_0/T_0} \\ t_2 &= T_0 + \frac{L_0/2+y_1}{L_0/T_0} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

则有:

$$\Delta t_1 = T_0 + \frac{y_1 - x_1}{L_0/T_0} \quad (3)$$

同理,在 $x_2 - y_2$ 坐标系中有:

$$\Delta t_2 = T_0 + \frac{y_2 - x_2}{L_0/T_0} \quad (4)$$

由(3),(4)得:

$$\begin{pmatrix} \Delta t_1 \\ \Delta t_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} T_0 \\ T_0 \end{pmatrix} = \frac{T_0}{L_0} \begin{pmatrix} y_1 - x_1 \\ y_2 - x_2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

又由(1)式得:

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}; \text{当 } \theta_i = \begin{cases} +60^\circ & i=1 \\ -60^\circ & i=2 \end{cases} \quad (6)$$

将(6)式代入(5)式化简:

$$\text{令 } a = \frac{\cos 60^\circ + \sin 60^\circ}{2\sin 60^\circ}; b = \frac{-\cos 60^\circ + \sin 60^\circ}{2\sin 60^\circ}$$

则有:

$$\frac{1}{L_0} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \frac{1}{T_0} \begin{pmatrix} a\Delta t_1 + b\Delta t_2 \\ b\Delta t_1 + a\Delta t_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

即:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \frac{L_0}{T_0} \begin{pmatrix} \Delta t_1 & \Delta t_2 \\ \Delta t_2 & \Delta t_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} L_0 \\ L_0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

由(8)式可以看出不同的 Δt_1 和 Δt_2 与地面上的不同位置一一对应。

2.1.2 调整扫描轴线部分

确定坐标原点(0,0)的准确程度直接关系到接收器确定自己位置的精度。可以采用 CCD 自动调整跟踪地面确定点的方法保证坐标原点的位置固定。如图(2)。

目前,CCD 分辨率越来越高;透镜的焦距 f 可以做得很大,这样坐标原点的位置精度完全可能高于接收机所能判定的坐标精度⁽⁴⁾。当然此部分也可以由无初始化动态 GPS 测量系统给定。

2.1.3 扫描系统与瞄准轴线系统的总体分析

为保证激光扫描光条扫描时,轴线始终对准确定的(既可以是运动的也可以是静止的)坐标原点,须保证瞄准系统与扫描系统同轴,如图(3)所示。

图中 3 部分为变焦距系统(ZOOM)可以随高度不同通过角调整使扫描范围不变。图中 4 部分为精密陀螺。整个系统为母子两级跟踪,整体是初跟踪系统。图中 4 部分为精密跟踪部分。

2.2 接收器的结构分析

由于接收机要把接收到的时间信号 Δt_1 和 Δt_2 变成位置信号,采用数字信号处理可以提高精度,也便于数据的处理。如果接收器接收光信号采用雪崩光敏二极管,具有响应速度极快的

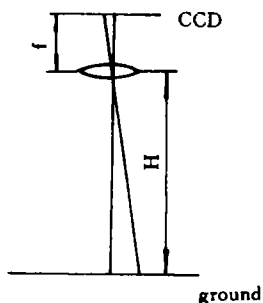


图 2 调整轴线图

Fig. 2 Diagram of axis adjustment

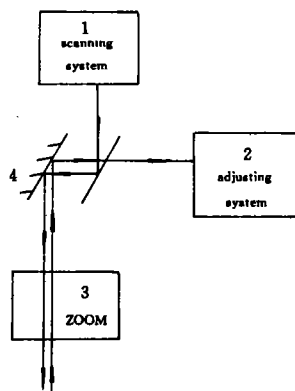


图 3 发射调整结构图

Fig. 3 Diagram of scanning and adjusting set up

特性,可达几千兆赫。这样同样适宜于激光信号的调制。调整接收器的处理器的时钟脉冲周期使之每个周期(T)与地面可分辨位置单元长度相对应。采用 T_0/T 个二代码为一周期序列。利用本机产生的 $O(0,0)$ 位置周期序列与之相关会得到与 Δt_1 和 Δt_2 有一定函数关系的量,最后得到 Δt_1 和 Δt_2 。再由处理器计算位置 (x,y) 值。最后得到位置坐标^[5]。

接收器处理信号过程如图(4):

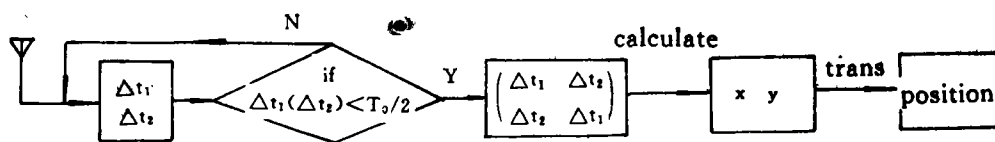


图 4 接收器处理信号过程

Fig. 4 The block diagram of the signal processing receiver

3 系统工作过程

首先由扫描轴线系统和调焦系统对地面已知原点 $O(0,0)$ 进行轴线调整。 O 点可以是静止或移动点,(此点可以是发出经交流调制的激光点,也可以是漫反射目标),当 CCD 接收到 O 点的光信号后,经弱信号处理得以调整轴线位置,保证轴线上的 O 点位置精度在允许的范围。同时调焦部分也可以扩大或缩小扫描范围。

在轴线调整准确后,由扫描系统发出一长条光斑,此长条光斑的长度达到扫描正方形边长 L_0 的长度。(由于接收器的雪崩二极管响应速度极快,此光条亦可进行交流调制以增加接收器处理信号的灵敏度)。此光条马上沿 x_i, y_i 方向扫描。接收器则记录 Δt_1 和 Δt_2 ,最后经运算得位置信息。

4 系统误差分析

对于静止的和低速运动的接收器,由公式(8)我们可以得如下偏微分式子:

$$\frac{\Delta x}{L_0} = \frac{a\Delta \cdot \Delta t_1 + b\Delta \cdot \Delta t_2}{T_0} \quad (9)$$

$\Delta \cdot \Delta t_1$ (或 $\Delta \cdot \Delta t_2$) 的最大误差便是接收器的脉冲周期 T_0 。则有:

$$\Delta x_{\max} = (a+b) \cdot T \cdot L_0 / T_0 \quad (10)$$

假设接收器的处理器的比特率为 10MHz;扫描边长为 10km;扫描一个周期为 0.012s,则有: $\Delta x_{\max} = 8\text{cm}$ 。此值是由 Δt_1 和 Δt_2 测量误差带来的位置误差。除此之外由以上 2.1.2 部分得知瞄准点的误差是相当小的,可以不计。由张角 $\angle ASB$ 的调整带来的 L_0 的误差对 x (或 y) 误差影响可以由下式确定:

$$\Delta x = \frac{(a \cdot \Delta t_1 + b \cdot \Delta t_2)}{T_0} \cdot \Delta L_0 \quad (11)$$

$$\text{又} \because \frac{a \cdot \Delta t_1 + b \cdot \Delta t_2}{T_0} \leq \frac{1}{2} \quad (12)$$

$$\therefore \Delta x_{\max} = \frac{1}{2} \Delta L_0 \quad (13)$$

ΔL_0 与 S_0 是成线性关系的;既由 S 点的高度决定,而 S 点可以由其它系统给定,同时调焦系统可以根据 S_0 调整 L_0 ;所以由此部分带来的误差通过调整轴线部分与调焦可以减小到一个很小的范围内。

对于高速运动的接收器瞬时定位除以上误差外,还有 $V \cdot T_0$, V 为接收器运动速度。此种定位系统对动目标的定位也较其它方法精度高,尤其是对低速和静止的接收器,由于 T_0 很小,所以精度相当高,可达 10cm 以上。

5 结 束 语

接收空中传来的光信号确定空间接收器的所处二维空间的位置,此系统亦可用于跟踪制导,有着极其广泛的用途。譬如,可以应用到城市交通定位,这对目前兴起的汽车内显示驾驶路线和位置来说无疑提供一种可行的手段。如果采用两个发射系统,通过公式的推导可以看出此方法完全可以应用到三维定位,随着发射和接收技术的日臻完善,此发射系统,完全可以搬到同步卫星上去进行全球定位。

参 考 文 献

- [1] 袁 信等编,导航系统. 北京:航空工业出版社,1993
- [2] 许其凤著,GPS 卫星导航与精密定位. 北京:解放军出版社,1989
- [3] 戴天时编,矩阵论. 长春,吉林工业大学教材,1992
- [4] V. J. Abreu and P. B. Hays, Applied Optics, 1981, 20(13): 2203-2209
- [5] 王树勋编,数字信号处理及实验. 北京:机械工业出版社,1992

Analysis of a New Positioning Way in Space

Wang Lisheng, Yu Deli

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanic,
Chinese Academy of science, Changchun 130022)

Abstract

In this papers, the fundamental theory of this system is generally compared with other positioning systems; the main components and the operation method of this system are described. Finally the short-term applied plan and long-term considerations on this system are proposed.

Key words: Positioning, Laser scanning system, Pulse periode, Receiving system.

王立升 男, 1940年3月生, 1965年毕业于长春光学精密机械学院, 副研究员。研究的主要方向是光学工程总体技术及光学设计。曾担任“宇宙飞行模拟机——光学探头”、“激光制导”、“靶场用大型跟踪测量经纬仪”等项的光学总体负责人。参加了首届“中苏宇航技术研讨会”。提出并论证了“物面、象面、镜组主面交于一条直线的原理”, 发表了校正象面倾斜的一种方法等十几篇文章。获得二项国家专利。