

工程机械户外定位问题解析

李昂

(江苏集萃道路工程技术与装备研究所有限公司, 江苏 徐州 221004)

摘要:无人驾驶是当前行业最火的技术方向之一,尽管民用车辆由于相关规范、法律、技术等多方面原因尚无法真正达到无人化,但是在机械行业,由于作业场景相对单一,不少公司已经纷纷推出了相关的无人驾驶应用。国外的卡特、小松等企业相继推出了无人矿卡系列产品;国内的徐工、三一则推出了压路机群的无人驾驶。本文就无人驾驶的核心技术之一——户外定位问题,做一个简单的论述。首先介绍卫星定位的原理,其次简单介绍当前的无人驾驶方案,最后对无人驾驶在工程机械领域的发展进行总结。

关键词:工程机械;定位原理;差分相位

中图分类号: TP277

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2021)04-0205-02

在国内工程机械领域,最早应用无人驾驶技术的产品是挖掘机和推土机。这两款产品的特点是作业场景相对封闭,工况也较为单一。在无人驾驶领域主要应用到的技术是定位以及路径规划。

在人口红利消失的时代,无人驾驶压路机对于大型的基建项目意义重大,批量无人驾驶压路机能够实现集群化作业,提高作业精度,有效加快施工速度,且压路机驾驶对于驾驶员的伤害较大,无人驾驶显得尤为重要。

与城区道路不同,道路建养作业区域往往人员稀少,工作过程甚至会封闭道路,道路结构简单,所以无人驾驶用于工程机械行业是保证安全、提高效率、降低运营成本有效方法之一。作为无人驾驶的核心技术之一,定位的准确性直接决定了无人驾驶的可行性。

1 基本原理

户外定位最常用的就是卫星导航系统,由于物体在空间中的坐标是由三个未知量表示(X, Y, Z),因此理论上三颗卫星就能确定一个地面坐标。

假设某台挖掘机此时的位置坐标信息为(X, Y, Z),与挖掘机进行信号通讯的三颗卫星编号分别为卫星1号(X₁, Y₁, Z₁),卫星2号(X₂, Y₂, Z₂)和卫星3号(X₃, Y₃, Z₃)。这三颗卫星坐标是已知的。挖掘机发射的信号抵达三颗卫星的时间分别为T₁、T₂、T₃,则显然有如下方程成立:

$$(X-X_1)^2+(Y-Y_1)^2+(Z-Z_1)^2=(T_1 \times V_{\text{信号传播速度}})^2$$

$$(X-X_2)^2+(Y-Y_2)^2+(Z-Z_2)^2=(T_2 \times V_{\text{信号传播速度}})^2$$

$$(X-X_3)^2+(Y-Y_3)^2+(Z-Z_3)^2=(T_3 \times V_{\text{信号传播速度}})^2$$

解这个三元三次方程组之后,理论上可以得到挖掘机的坐标信息。但实际情况通常是该坐标与挖掘机的实际位置相差甚远。这是由于上述方程中三颗卫星接收到信号的时间不同,原因是接收挖机信号的三个卫星可能初始时间并不统一,结果如表1所示。

表1 卫星接收信号实际时间与理论时间说明

卫星	接收信号时间	理论时间/s	实际时间/s
卫星1#		5	5.2
卫星2#		5.1	4.9
卫星3#		5.4	5.5

这种情况是由时钟误差造成,这里不展开讨论,本文仅讲述如何在算法上消除这种误差,很简单,将上述方程的时间作调整,得到新的方程如下:

$$(X-X_1)^2+(Y-Y_1)^2+(Z-Z_1)^2=((T_1-\Delta t_1) \times V_{\text{信号传播速度}})^2$$

$$(X-X_2)^2+(Y-Y_2)^2+(Z-Z_2)^2=((T_2-\Delta t_2) \times V_{\text{信号传播速度}})^2$$

$$(X-X_3)^2+(Y-Y_3)^2+(Z-Z_3)^2=((T_3-\Delta t_3) \times V_{\text{信号传播速度}})^2$$

上述方程中 Δt_i 代表每颗卫星的时钟误差,但是由于每颗卫星并不知道自己的时钟误差是多少,因此上述方程无法求解。为了解决上述问题,这里引入地四颗卫星作为标准卫星,假设该标准卫星的位置信息为(X₄, Y₄, Z₄),挖机发射的信号到达该卫星的时间为T₄,其他三颗卫星的标准时间差为 $\Delta t'_1$ 、 $\Delta t'_2$ 、 $\Delta t'_3$,该卫星的标准时间差为 $\Delta t'_4$,挖掘机的标准时间差是已知,假设为t'则:

$$(X-X_1)^2+(Y-Y_1)^2+(Z-Z_1)^2=((T_1-(t'-\Delta t'_1)) \times V_{\text{信号传播速度}})^2$$

$$(X-X_2)^2+(Y-Y_2)^2+(Z-Z_2)^2=((T_2-(t'-\Delta t'_2)) \times V_{\text{信号传播速度}})^2$$

$$(X-X_3)^2+(Y-Y_3)^2+(Z-Z_3)^2=((T_3-(t'-\Delta t_3))\times V_{\text{信号传播误差}})^2$$

$$(X-X_4)^2+(Y-Y_4)^2+(Z-Z_4)^2=((T_4-(t'-\Delta t_4))\times V_{\text{信号传播误差}})^2$$

该方程组有 4 个未知数, 4 个方程, 方程可解, 这也是实际定位过程中需要四颗卫星进行定位的原因。

2 传输误差

解决时钟误差之后, 只是解决了信号发送和接受的时间统一问题, 定位仍然会出现较大偏差。这是因为信号在通过电离层、对流层等区域的时候, 信号传输路径会发生折射。本来直线传输变成了曲线传输, 此时计算出来的距离将无法使用。

为了解决上述问题, 人们设立了信号塔, 也就是俗称的基站。利用基站辅助定位的原理是: 基站的位置可以人工标定, 挖机通过通信设备定位到基站后可以确定自身与基站之间的距离。挖机和基站同时给卫星发射信号进行定位, 由于电离层、对流层的原因, 基站的定位结果与实际结果存在偏差, 但是由于基站本身位置确定, 因此可以解算出基站和卫星之间的传输误差, 然后将误差结果告知挖机, 挖机根据这个误差修正自身位置从而得到一个较为准确的定位信息。这样做的好处就是通过基站将所有从卫星到地面标的物之间的误差统一进行解算, 前提是基站与标的物之间的距离不能太远, 这个基站就是 RTK。

3 RTK 介绍

3.1 RTK 基本原理介绍

RTK 定位技术是一种基于高精度载波相位观测值的实时动态差分定位技术, 基准站首先将自己获得的载波相位观测值及站点坐标, 通过数据通信链实时发送给周围工作的动态用户。流动站数据处理模块使用动态差分定位的方法确定流动站相对基准站的坐标, 然后根据基准站的坐标反算自身的瞬时坐标。

RTK 的组成包括基准站和流动站。其中基准站就是建立在某个地方之后不再移动的站点, 而流动站则是随待测点不断移动的站点。所谓差分实时动态定位技术的原理就是依据基准站和流动站之间的空间相关性建立。

3.2 RTK 坐标转换

利用 RTK 测定坐标位置时, 还有一个重要步骤是进行坐标转换, 这是由于实际应用中, 不同的用户会基于自身定位精度、坐标保密、控制变形等原因建立其他坐标系, 为了统一标准, 因而涉及了坐标转换的概念。

当前常用的坐标转换方法有: 三参数法、四参数法、七参数法及一步法。其中三参数法可以应用于精度要求不高的水上测量, 四参数法适用于普通的工程测量, 七参数法则主要用于精度要求较高的控制测量。一步法参数形式和标准七参数法一样, 需要三个或者三个以上已知点。

4 导航定位硬件系统搭建

4.1 电台链路单基站模式

该模式中, 差分数据源来自于在现场架设的卫星基站。基站架设好后, 在当天的施工过程中不得移动位置, 因为其坐标和数据是当天采集的路径与车辆实时位置的基准。卫星基站输出的

差分数据通过 400 多兆频率的无线信号进行广播, 如果采用 1W 的内置电台进行广播, 信号覆盖半径在 2~3km, 每台车上的定位设备也是用相同规格的内置电台进行接收。这个方案的主要优点是可以完全摆脱对于移动运营商通信网络的依赖。

4.2 2.4G 链路中继 CORS 网络差分模式

该模式下, 车辆上的定位设备通过 2.4G 链路组成一个无线局域网, 网中有一台设备获取通过移动运营商网络来获取差分数据服务商的实时差分数据, 然后在局域网内进行广播, 被所有联网的设备共享。此方案的优点是无须架设卫星基站, 但是差分数据的质量依赖于工作现场的移动运营商和数据服务商数据的质量。根据我国目前的基础建设, 只要不是十分偏远的地区, 基本都做到了完全覆盖。

5 无人工地的发展趋势

随着物联网以及无人驾驶技术日趋成熟, 以及人口红利的逐渐消退, 未来工程机械行业的发展必然是朝向机组施工无人化、智能化方向迈进。本文通过对无人驾驶的核心技术之一-定位进行分析, 重点介绍了当前卫星定位的原理以及系统搭建方法。虽然当前定位方法层出不穷, 并且也在不断的成熟, 但是解决定位精度及抗干扰问题依然是未来定位技术要研究的方向。以集萃道路公司的沥青路面热再生机组为例, 由于采用了热风微波的复合加热技术, 微波会对周围环境造成信号干扰, 同时施工场景处于开放的高速公路当中, 为了保证信号传输的安全, 建立基于 5G 技术的专用网络将是一种有效的解决途径, 如图 1 所示。



图 1 集萃公司热再生机组施工现场

参考文献

- [1] 徐欣莹.5G 时代小基站的定位及价值[J].电信科学, 2020, 36(增刊 1): 52-56.
- [2] 王升龙.浅析 5G 基站规划建设的难点[J].通讯世界, 2019, 26(7): 184-185.
- [3] 胡善亮.北斗卫星导航系统在道路运输中的应用[J].通讯世界, 2017(14): 113-114.
- [4] 张毓书.北斗系统: 交通运输业的“领航者”[J].人民交通, 2018(10): 25-27.

收稿日期: 2020-12-05

作者简介: 李昂(1987-), 男, 汉族, 江苏徐州人, 工程师, 博士, 研究方向为机械设计。