
基于 GNSS 的机场车辆调度方案

一、 前言

随着我国民航产业快速发展，机场内飞机和特种车辆的数量日益增多，地面车辆与飞机、车辆与车辆之间都存在发生碰撞的隐患，在大风大雾等恶劣天气情况下尤其是如此，严重的威胁到了机场运营安全。在此背景下，建设机场高精度 GNSS 车辆监控系统，辅助机场安全管理，是非常必要的。

基于 GNSS 的机场车辆调度系统综合运用了 GNSS、通讯、智能控制等多种技术，实现的主要功能包括：

- 采用 GNSS 差分技术实现的厘米级或亚米级精确定位；
- 基于二维电子地图或三维地图来实现车辆的空间可视化监控管理；
- 通过监控车辆的实时运行情况来处理各种突发事件，并对危险状况（如超速、越界等）进行预警；
- 通过各种车辆数据的采集和分析，针对性的制定有效措施，促进机场安全管理系统的改善，提高机场生产运营的效率与安全性。

二、 需求概述

- 实现机场区域内高精度的车辆位置监控，精度要求亚米级或更高；
- 需建立高精度的机场区域电子地图系统；
- 建立高精度 GNSS 差分系统；
- 需考虑到机场中的各种外界因素对 GNSS 工作和无线通信系统的影响，并制定规避措施；
- 实现车载位置数据与监控中心的实时通讯；
- 定位数据更新率要求不低于 10HZ；
- 支持提供经纬坐标信息和平面坐标信息等；
- 数据格式为标准 NMEA 数据，亦可提供自定义报文；
- 考虑车载报警提示的功能设计。

三、 总体方案设计

本方案设计的核心功能是高精度车辆定位，基于 GNSS 卫星载波相位差分技术是目前在高精度定位方面最先进的技术，而且经过十几年的广泛应用，成熟度也非常高，而近几年中国北斗卫星导航系统（BDS）的蓬勃发展和应用，使 GNSS 高精度定位技术在稳定性方面和可靠性方面又得到极大的提升。GNSS 定位技术的几个显著特点是：

- 全天候工作，不受雨雪风天气的影响，不受光线影响；
- 定位精度高，载波相位差分技术（RTK）动态定位精度最高可达±1cm；
- 测速精度高，测速精度可达 0.03m/s。

另外，考虑到机场环境的复杂性，实际应用中存在卫星观测条件不好的情况，例如建筑物遮挡等，因此为了确保车载终端在任何情况下能够连续定位，必须考虑辅助定位方法，本方案将采用惯性导航技术作为辅助手段，但是由于纯惯性定位存在误差积累的特性，即误差会随着时间的延长而降低，因此本方案中采用了惯性-卫星组合导航方法，基于最优估计算法—卡尔曼滤波算法融合两种导航算法，获得最优的导航结果；尤其是当卫星导航系统无法工作时，利用惯性导航系统使得导航系统继续工作，保证导航系统的正常工作，提高了系统的稳定性和可靠性。

除高精度定位技术外，通讯是本方案的另一个关键环节，通信链路系统是监控中心与车载终端之间、GNSS 基准站与车载终端之间通讯的通道。通讯技术目前可选方法多种多样，通讯主要考虑安装便捷性、传输稳定性、可容纳终端容量、网络安全和安装及维护成本等，综合考虑上述因素，我们提供了几种可选方案，具体见下文。

监控中心是整个系统的功能操作和实现的核心，其主要职能是实现对机场车辆的监控、调度和管理，还负责响应并处理紧急事件，提供跟踪定位、和远程控制等处理措施，监控中心的主要组成部分包括数据处理软件、数据库服务器和实时显示系统。其中，数据处理软件负责与各车载终端的信息交互，完成各种信息的分类、记录、修改和转发，对车辆运行状况进行实时监控和调度，并及时处理报警信息，同时对整个网络状况进行监控管理；数据库服务器要确保安全、高效、实用。数据库是整个服务器系统的信息中心，对所有的车辆信息和定位数据，图片等进行数据

存储；实时显示系统负责图形化、图表化显示机场车辆总体运行情况，包括电子地图、车辆位置坐标、速度、油量、驾驶员信息、车牌号等。

基于上述技术分析与项目需求，基本上确立了本方案的三大部分，即监控中心部分、GNSS 基准站部分和车载终端部分，而通讯数据链则是连接各部分功能的纽带。

(一) 方案原理和拓扑结构

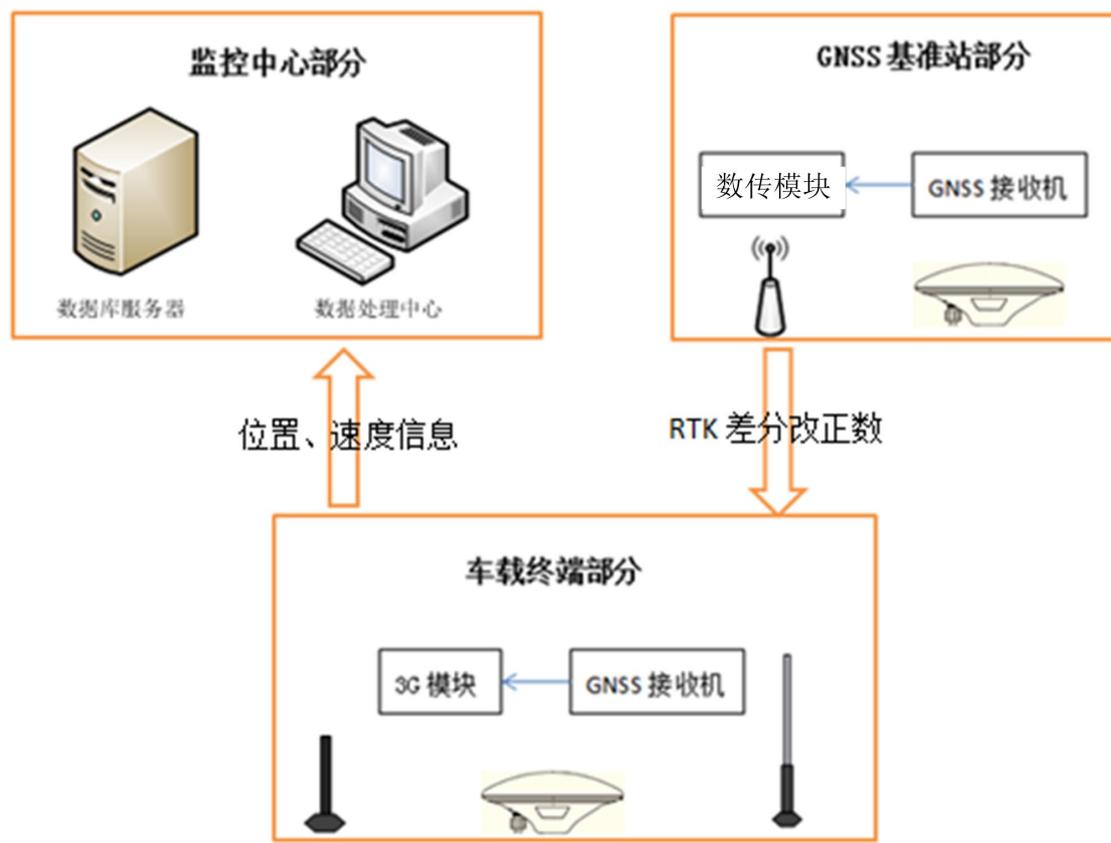


图 1 系统原理图

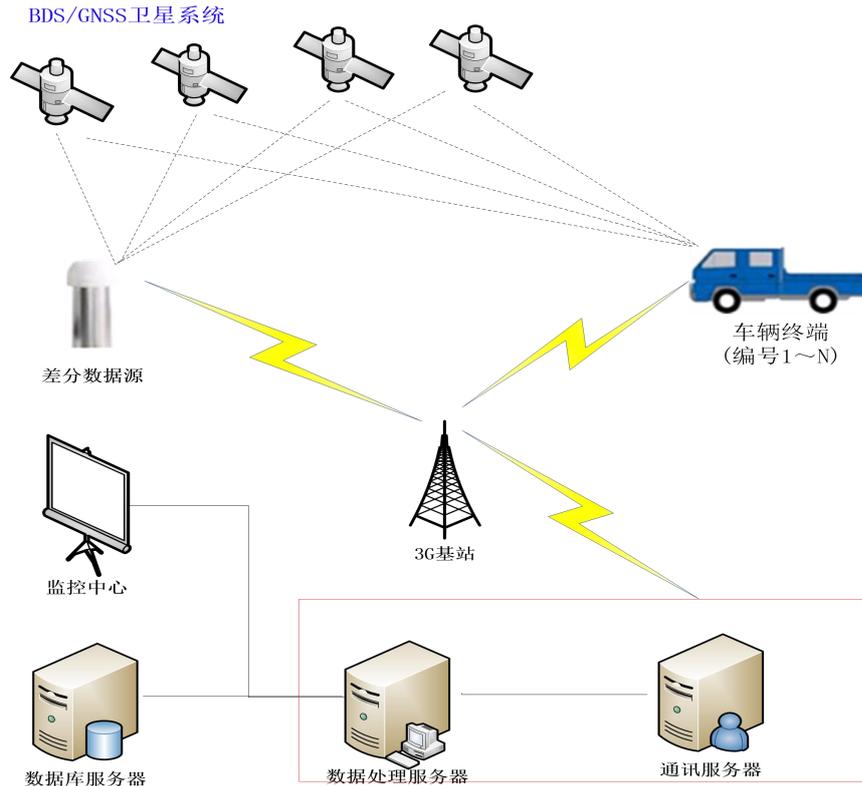


图 2 系统拓扑图

(二) 系统工作原理

GNSS 参考站自动实时播发差分改正数据给车载终端的 GNSS 接收机，车载终端中的 GNSS 接收机实时接收差分数据并进行差分定位解算，并将解算结果（精确坐标和速度）再实时发送到机场监控指挥中心。

除 GNSS 数据外，车辆的状态信息、报警信息及服务请求信息（如有）等也可以通过无线网络发送到监控指挥中心。

数据中心收集到上述各种信息后，综合分析处理，并作出明确的报告结果和预警指示，展示在大屏幕上。指挥中心可以根据当前车辆的运行情况，给受控车辆发出调度指令。

(三) 系统信息流程

1. GNSS 接收机接收卫星信号，同时接收差分无线网络发送的差分信号，进行解算后通过串口把坐标发送给无线通信模块。
2. 无线通信模块把 GNSS 信息和车辆状态信息转发到通信服务器。

3. 通信服务器把接收到的信息存储到数据库服务器中，同时根据监控终端的应用需求，把信息实时转发给数据处理中心。
4. 数据处理中心接收到通信服务器发送来的信息后，发送给数据库服务器进行存储，同时发送给监控终端进行可视化显示，实现车辆监控。

四、 方案详细设计

（一）GNSS 基准站

GNSS 基准站主要负责实时播发 RTK 差分改正数，使车载移动站接收机能够达到厘米级的定位精度。GNSS 基准站接收机通常与 GNSS 天线、无线数传模块及其组件一起组成 GNSS 基准站系统。

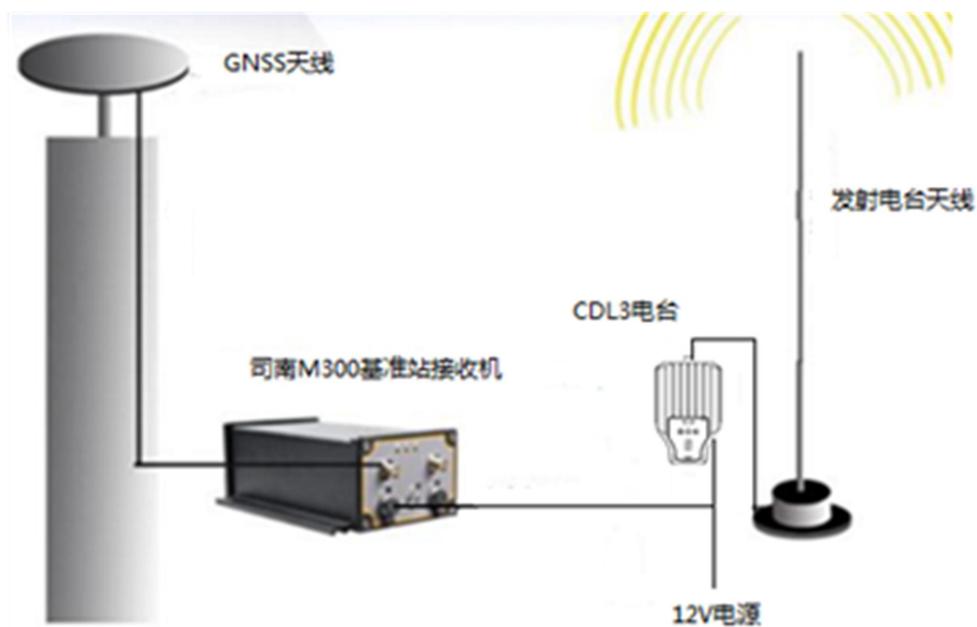


图 3 基准站连接示意图（以电台通讯为例）

设备安装时，基准站接收机与数传电台一起归置设备箱内，为方便检查维护一般放置于室内，也可以放置于室外；GNSS 天线和电台发射天线必须安置于室外开阔处，并注意固定牢固。

在 GNSS 基准站选址和建设过程中，用户可以根据对易建性、实用性、美观性等因素的不同需求，采取不同的方法，比如可以用水泥或钢材制作卫星天线观测墩，或者用金属材料焊接天线支架等等。GNSS 基准站部分的供电系统，须采用 12V~

15VDC 电压供电，电流要求 5A~10A（建议 10A），为保证设备能够长期稳定工作，需要能够提供的稳定的电流和电压，建议采用 UPS 电源。

另外，GNSS 基准站属于永久性或者半永久性设施，须根据现场的条件采取适当的防雷措施，一般机场区域都已经有了完善的防雷系统，可以不用另行建设。

GNSS 基准站可以选用司南 M300Pro 型或者 M300C 型接收机，后文中有详细说明。

（二）车载终端

车载终端部分主要包括 GNSS 接收机（移动站）、数传模块（可选）、GNSS 天线、数传模块天线以及平板电脑（可选），其中 GNSS 接收机和数传模块放置在车内，天线均用吸盘固定在外部车顶。主要功能如下：

- 负责接收 GNSS 基准站广播的 RTK 差分改正数信息；
- 负责计算和输出标准格式的高精度定位结果和速度信息；
- 负责通过 3G 网络把位置和速度信息上传至监控中心；
- 若装备平板电脑，则可以实现监控中心对驾驶室远程发送指令和预警。

以下主要介绍 GNSS 移动站接收机，数传模块将在通讯方案中详细说明。

1. 车载 GNSS 移动站

车载 GNSS 移动站作为直接提供数据的设备，至少需达到以下要求：

- 实时数据输出的频率要求最大支持 10HZ；
- 差分解算后数据精度应达到亚米级或厘米级；
- 为保证位置导航的连贯性，须采用 GNSS 与 INS（惯性导航）组合导航的模式；
- 输出数据类型应支持经纬度坐标和平面坐标；
- 对于车载应用，GNSS 接收机最好采用主机和天线分体式设计，如此既可以保护主机，有不影响卫星信号的接收。

2. 车载平板电脑

如果需要实现监控调度中心向车辆驾驶室发送指令，并能够进行告警功能，可以在驾驶室内安装平板电脑，必要的时候可以对驾驶员发出指示信息。平板电脑将通过网络与监控中心直接通讯。

(三) 通讯方案设计

本系统中，涉及到通讯的有两个方面，一是 GNSS 基准站播发的差分改正数据要传送到各个移动终端；另一个是移动站端接收机解算得到高精度的定位结果后要上传至数据中心。

目前常用的数据通讯方式有两种，一种是数传电台通讯，一种是通过局域网或者 Internet 网通讯。根据目前实际应用成熟度来看，两种方式在 RTK 差分数据通讯中都有大量应用，而且使用网络通讯越来越多；定位数据上传方面，目前基本上都是采用网络通讯。

几种通讯方式的优缺点大致分析如下：

通讯方式		优势	缺点
电台通讯		<ol style="list-style-type: none"> 1. 一次性投资，无流量费； 2. 独立通讯，自主工作； 3. 移动端内置接收模块，无需外置； 4. 对接收终端数量无限制； 5. 建设成本低，安装简单。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 工作频段为 410~470MHZ, 发射功率为 2W~25W, 须避免与其它同频段通讯设备冲突； 2. 只能为 RTK 差分数据提供通讯，不能用于终端数据上传； 3. 传输距离一般≤10km。
网络通讯	局域网 wifi 通讯	<ol style="list-style-type: none"> 1. 后期运营过程中不产生流量费； 2. 无需接入公网，网络安全性好； 3. 可以同时支持 RTK 通讯与数据上传通讯； 4. 通过串口服务器固定局域网 IP 地址，自动识别每辆车； 5. 数量通讯量大，不用考虑费用问题。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 局域网建设有一定的工程量，需根据场地面积架设多个基站，前期投入相对较大； 2. 每台移动端需要外置网络模块； 3. 终端数量过多，数据量较大时对网桥基站数量有更多需求。
	3G/4G 通讯	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不需基建，安装简便； 2. 可以同时支持 RTK 通讯与数据上传通讯； 3. 对传输距离无限制； 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 按流量计费； 2. 每台移动端需要外置 3G/4G 网络模块； 3. 要求场地内 3G/4G 信号覆盖好； 4. 终端数据上传通过公网，需考虑甲方的安全性要求。

1. 电台通讯

RTK 差分数据通讯可采用 GNSS 行业专用的数传电台，通过标准 RS232 串口接收 GNSS 基准站输出的差分改正数，然后转换为模拟信号以无线电形式广播，电台需设置特定的频率，可选范围在 410MHZ~470MHZ 之间。

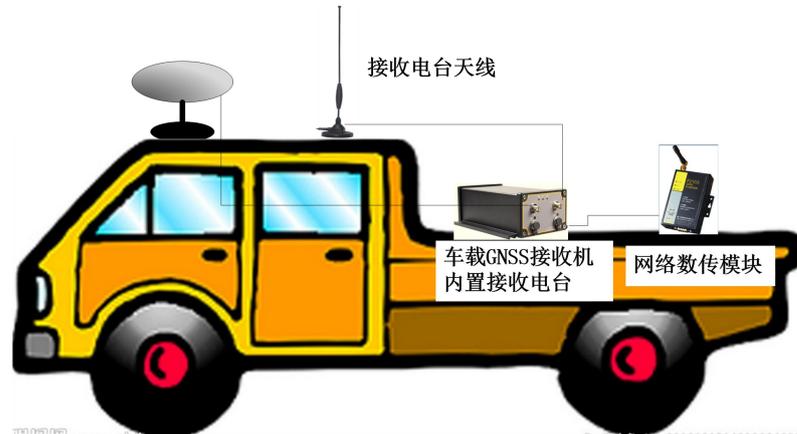


图 4 车载移动电台通讯示意图

2. 局域网 wifi 通讯

局域网通讯一般采用无线网桥设备搭建，它利用无线传输方式实现在两个或多个网络之间搭起通信的桥梁。无线网桥采用 IP 传输机制，接口协议采用桥接原理实现，具有组网灵活，成本相对较低的特征，适合于网络数据传输和低等级监控类图像、数据等传输，广泛应用于各种基于纯 IP 构架的数据网络解决方案。

考虑到对监控区域（机场）的完全覆盖，且可能存在楼房等建筑物或构筑物的遮挡，需根据现场的实际情况确定基站的数量，以保证良好的通信效果。

3. 3G/4G 网络通讯

采用 3G 或 4G 网络通讯，即每个车辆上安装一套 3G/4G 网络通讯模块，模块通过公网将 GNSS 基准站差分数据传输给各个车载终端，同时将高精度 GNSS 定位数据回传至控制中心（网络双向通信），控制中心可以根据模块的 ID 识别每个车辆，从而能准确的判断每个车辆的准确位置。当然，3G/4G 模块也可以单独用作定位数据上传，RTK 差分数据传输采用电台传输（网络单向通信）。

(四) 电子地图

本项目需要亚米级别的车辆监控定位，电子地图的精度必须要更高的级别，也就是要达到厘米级，因此电子地图要求的指标如下：

- 精度要求厘米级；
- 地图的格式，测绘成图一般是 AUTOCAD 图形，监控软件须能够接入；
- 地图形式可以是 2D 或者 3D；
- 地图元素至少应包括车道、关键区域以及所需要标示的重要地物；

如果已有高精度地图，且满足要求，则可以直接使用，但是可能需要做如下工作：

1. 坐标系转换，即 GNSS 系统给出的坐标系需要转换到已有地图坐标系中。
2. 坐标格式，根据地图的需要提供对应格式的坐标，例如经纬度坐标或平面坐标。

如果没有现成可用的地图，可以重新测绘，我们可以提供专业的测绘设备、测绘人员以及制图服务。下图是我们在高精度驾考行业（厘米级定位）应用中的示例图形（2D）：

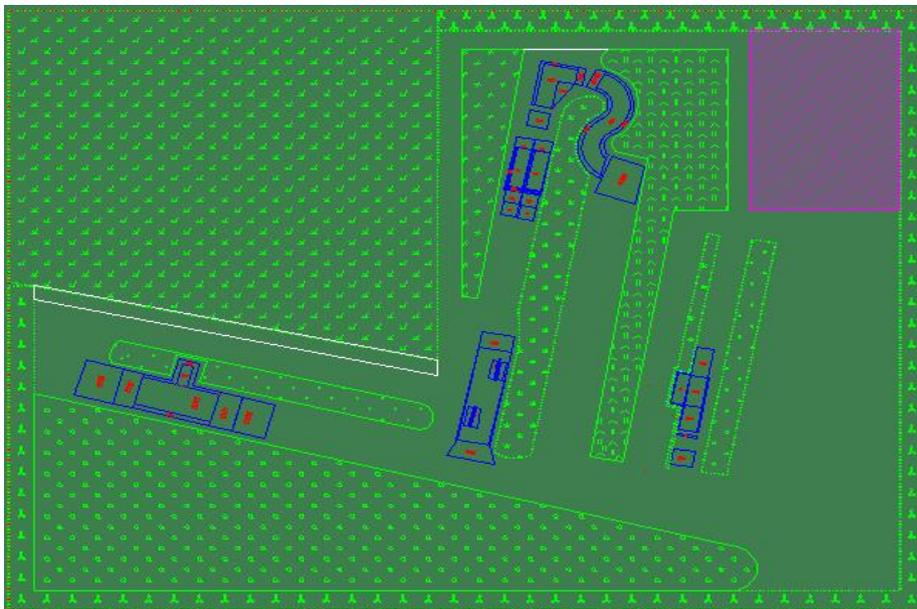


图 5 2D 电子地图示意图

基于差分 GNSS 技术的高精度车辆监控或调度应用十分广泛，动态精度最高可以达到厘米级别，目前最为典型的是 GNSS 驾驶员考试系统中的应用，评判精度要求不大于 2cm。司南导航产品在驾考领域的市场占有率在 70% 以上。

另外，在电子地图方面，我们还可以提供更多的选择，例如可以实现将区域高精度地图与百度或其它低精度导航地图结合，在核心监控区域（例如某机场），以高精度电子地图监控，同时，即使受控车辆离开核心监控区域，依然能够监控到其实时的大致位置。

（五）数据中心服务器

数据中心是整个系统的核心组件，包括核心数据处理、通信处理和业务处理三大职能，因此服务器的稳定运行时整个系统稳定运行的基础。一旦该服务器出现故障，将影响到整个网络系统的正常运行，所以服务器应有足够的安全性和容错性。因此为了保障系统的可靠性，服务器尽量采用双机热备份机制。整个系统的服务响应由两个服务器节点相连成的一个整体来提供服务。通过群集，可以实现在一个服务器节点失效的情况下，仍然可以提供数据访问和网络服务的正常运行，保证了客户的关键业务稳定、可靠、不间断运行。

由于数据处理和业务处理软件已经具备，本方案重点考虑通讯处理的职能，即如何接收车辆终端上传的各种数据，并以某种接口提供给已有的数据处理软件。由于车载设备与数据中心的网络通讯有两种选择，即局域网通讯或 3G/4G 网络通讯，具体操作有所不同。

如果采用局域网通讯，则需要将数据中心的计算机，与各个车载终端接入一个局域网内，然后在数据中心安装司南网络接收软件，通过相关设置即可实现通讯。此种方法由于是局域网内通讯，操作简便。

如果采用 3G/4G 网络通讯，则需要将数据中心的计算机接入互联网，并且提供固定 IP 或者用动态 IP 映射端口的方法，再结合司南网络接收软件，实现通讯。此方法相比局域网通讯主要增加了获取固定 IP 或映射端口的操作，其它步骤几乎一致。

五、 设备选型

（一）GNSS 基准站选型

GNSS 基准站用于播发 RTK 差分数据，其信号和数据的稳定性直接影响移动站的定位精度，因此基准站的选型十分关键。

1. M300Pro 接收机



图 6 M300Pro 接收机

M300 Pro 接收机是司南导航针对 GNSS 参考站建设而设计的一款高性能 GNSS 接收机，搭载公司完全自主知识产权的先进高精度主板，支持国家北斗卫星导航系统，兼容全球主流卫星导航系统。具有完全自主核心知识产权的高精度 GNSS RTK 技术，支持 BDS B3I 信号，具备 BDS 独立定位、差分 and RTK 解算能力。内置网络通讯功能，以太网接口采用 10M/100M 自适应网卡接口芯片，满足大多数数据传输需要。用户可以通过本地网络、串口或液晶面板按钮、远程网络配置系统参数。同时支持远程重启、内存格式化和固件升级等系统维护功能。

2. M300C 型接收机

司南导航 M300 GNSS 接收机采用自主知识产权 BDS+GPS 双星五频 GNSS 模块，紧跟国际卫星定位发展的步伐，为 GNSS 产业革命性产品。M300C 提供标准的 RS232 串行接口，可以与数传电台模块或网络通讯模块连接，组成简易的基准站系统。



图 7 M300C 接收机

（二）GNSS 移动站接收机选型

考虑到机场环境的复杂性，车辆在机场行驶过程中难免会遇到大型遮挡物下穿行环境，这样对 GNSS 车载导航设备接收卫星信号以及基站差分源信号都会造成有很大影响，会导致定位不准确甚至信号失锁，从而导致中心对车辆的显示与预警系统产生错误预报或者失效。对于以上隐患我们采用 GNSS+INS 技术，即卫星导航+惯导组合导航技术，组合导航的优势是在卫星信号和差分源信号不能很好的提供给车载移动端时，车载移动端导航设备输出的数据报文上会有专门的差分解算标识，当惯导模块检测到状态位变化时会自动激活惯导模块工作，GNSS+INS 组合导航提供高精度推算坐标，这样实现了良好环境下采用单卫星导航，环境不好时进行组合导航，保证设备稳定高精度运算工作。

1. M300-INS 接收机简介

M300-INS 是面向车载应用推出的一款高精度定位组合导航产品。M300-INS 采用的是车载 GNSS 接收机内置 INS 模块，可在 GNSS 失去信号或者遮挡严重时提供短时间连续可靠的精确定位、测速、测姿服务。

2. M300-INS 接收机测试示例

GNSS+INS 组合导航接收机和 GNSS 接收机采用 RTK 差分模式在茂密树木及高楼环境下对比测试效果如下（实验设备采用司南 M300 接收机）：

两者在同一时间同一环境下采集的 GPGGA 经纬度坐标信息导入到谷歌地图中所生成的图片，图中红色点连线形成的轨迹定位轨迹为不带惯导 M300 采集的数据形成的，黑色点连线形成的轨迹定位轨迹为 M300-INS 采集的数据形成的，由下图对比可以看出在同一时间同一遮挡测试环境下，M300-INS 导航设备采集数据形成的轨迹平滑度远好于 M300 接收机，M300-INS 对遮挡环境具有较高的应对能力。



图 8 总体视图（注：白线为点与点之间的连线）



图 9 不含惯导 M300 接收机采集的数据轨迹图



图 10 含惯导 M300-INS 接收机采集的数据轨迹图

（三）数传电台选型

数传电台方面，目前市场上电台可选类型比较多，应用也比较成熟，相互之间主要区别在频段和协议方面，司南可以提供的三种电台对比表如下：

电台型号	频段范围	协议类型	功率
PDL	410~470MHZ	Transparant/TT450s	5W/25W
CDL3	410~470MHZ	Transparant/TT450s/South	2W/5W/30W
UDL	450~470MHZ	South	10W/25W

综合多种因素，我们推荐采用 CDL3 型电台。

CDL3 电台是上海司南卫星导航技术股份有限公司为 GNSS 差分数据传输设计的高性能数传电台，适用于 RTK 等野外实时数据传输。CDL3 电台在功能上增加了诸多保护措施，如增加了电源的防反接功能、输出开路短路保护和高低电压保护功能等，有效的保护了电台。

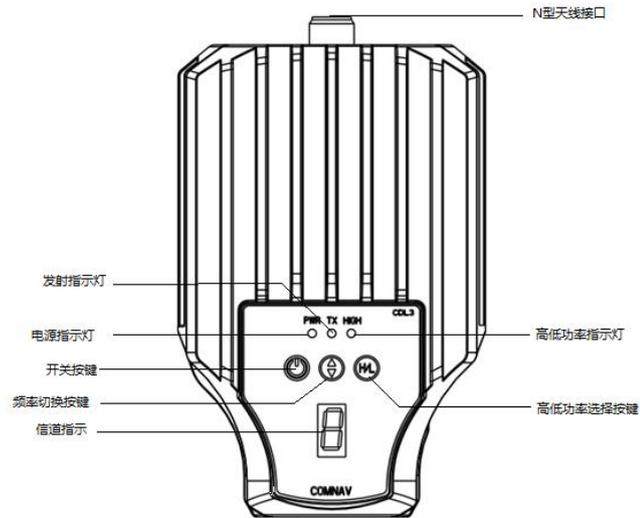


图 11 CDL3 电台

(四) 3G 模块选型

车载 3G 网络模块如今在各行业内应用都很普遍，目前采用北京驿唐科技公司提供的 MR-900E 型模块，它工作在中国电信 CDMA2000 1x/EV-DO 网络下，具有高速上网与数据传输能力。

(五) GNSS 天线

1. 基准站 GNSS 天线选型

AT500 是一款具有零相位中心误差的多星多频扼流圈测量型天线，采用多馈点微带天线技术，保证天线相位中心与几何中心的重合。采用前置滤波技术的低噪声放大器，提高系统抗干扰能力；内置防雷保护电路可长期在户外安装使用；特设玻璃钢材料的天线外罩，耐用性好，专为 GNSS 参考站、CORS 系统以及各种高精度监测应用而设计。



图 12 AT500 天线

2. 车载 GNSS 天线选型

推荐采用司南公司 AT300 型全频 GNSS 天线，频段范围覆盖了 BDS B1/B2/B3、GLONAS L1/L2 和 GPS L1/L2 共七个频段，设计小巧，直径 14cm 左右，性价比高，适合高精度车载应用。



图 13 AT300 天线

六、 北斗卫星定位系统的优越性

(一) 概述

北斗卫星导航系统 (BeiDou (COMPASS) Navigation Satellite System) 是中国正在实施的自主发展、独立运行的全球卫星导航系统。系统建设目标是：建成独立自主、开放兼容、技术先进、稳定可靠的覆盖全球的北斗卫星导航系统，促进卫星导航产业链形成，形成完善的国家卫星导航应用产业支撑、推广和保障体系，推动卫星导航在国民经济社会各行业的广泛应用。

北斗卫星导航系统由空间段、地面段和用户段三部分组成，空间段包括 5 颗静止轨道卫星和 30 颗非静止轨道卫星，地面段包括主控站、注入站和监测站等若干个地面站，用户段包括北斗用户终端以及与其他卫星导航系统兼容的终端。

（二）发展历程

卫星导航系统是重要的空间信息基础设施。中国高度重视卫星导航系统的建设，一直在努力探索和发展拥有自主知识产权的卫星导航系统。2000 年，首先建成北斗导航试验系统（北斗一代），使我国成为继美、俄之后的世界上第三个拥有自主卫星导航系统的国家。该系统已成功应用于测绘、电信、水利、渔业、交通运输、森林防火、减灾救灾和公共安全等诸多领域，产生显著的经济效益和社会效益。特别是在 2008 年北京奥运会、汶川抗震救灾中发挥了重要作用。为更好地服务于国家建设与发展，满足全球应用需求，我国启动实施了北斗卫星导航系统建设。

（三）发展计划

北斗卫星导航系统正按照“三步走”的发展战略稳步推进：

- 2000 年建成北斗卫星导航试验系统（北斗一代），使中国成为世界上第三个拥有自主卫星导航的国家，不过早期的北斗一代系统包括四颗卫星，相对于 GPS 来说精度较低，而且不支持移动定位，而后续的北斗二代卫星体系性能不弱于美国 GPS 系统。
- 建设北斗卫星导航系统（北斗二代），2012 年左右形成覆盖亚太大部分地区的定位、导航和授时以及短报文通信服务能力。

2020 年左右，北斗卫星导航系统形成全球覆盖能力，届时将有 5 颗静止轨道卫星和 30 颗非静止轨道卫星组成，等到 2020 年左右北斗全球卫星导航系统建成之后北斗系统所提供的定位精度在全球范围内将与 GPS 相抗衡，而在增强区域也就是亚太地区，北斗的精度甚至会超过 GPS。

截止目前 BDS 系统已经有 19 颗卫星升空，前两步已经完全实现而且效果超出预期，现在单北斗接收机（即只跟踪北斗卫星）在亚太地区完全可以自主定位（单机定位、差分定位、RTK 定位、CORS 定位等等）而且精度不亚于 GPS。

(四) 北斗卫星导航系统的优越性

利用我国自主建设的北斗二代卫星导航系统 (BDS)，实现与美国 GPS 系统以及包括 GLONASS 在内的其它卫星导航系统的联合定位，克服了 RTK 高精度卫星定位单纯依靠国外卫星定位系统的固有缺陷，有效的保障了系统的安全可靠性；

以 BDS 与 GPS 的组合为例，两种卫星定位系统的联合应用有以下优点：

- 增多了可跟踪卫星数，弥补了高轨道卫星数据少的问题，同时如果可利用 BDS 三频技术，增加了多余观测，从而可以较大程度的提高定位精度。
- 增多了可跟踪卫星数，使卫星分布更为合理，降低了 DOP 值，提高了解算精度，特别是所能跟踪 GPS 卫星少时显得更为重要。
- 增多了可跟踪卫星数，使在山区、遮挡较严重的路段等高遮挡的区域进行长时间、稳定、可靠的应用定位成为可能。
- 采用 BDS+GPS 双卫星系统，安全性将得到进一步提升，使整套监测系统有效、安全运行，不受制于人，不完全依赖于国外的卫星定位系统，不会因为某一单一卫星系统由于战争等原因关闭或故意干扰导致的系统瘫痪。