

# 用全球卫星定位系统(GPS)的 无线电探空仪测风

K. Kaisti T. Saarnimo V. Karttunen  
(芬兰 Vaisala 公司, 高空部)

## 1 引言

通常的高空测风方法((Omega, Loran 等)的准确度对所有的气象应用是不够的。用现有的导航网也不能覆盖全球。由于探空仪需要较长天线使现有的导航仪器对大气电的干扰很敏感。因此 Vaisala 公司正在发展一种以全球卫星定位系统为基础的测风方法。它将改进测风准确度, 并做到 24 小时覆盖全球。由于不需要长时间积分, 测风的垂直分辨率也大大提高。表 1 列出现有导航测风的准确度及差分 GPS 测风的准确度。

表 1 不同测风方法的比较

测风网	风向量(m/s)	垂直厚度(m)
罗兰-C	0.5	—
奥米伽	1.0	—
差分 GPS	0.1	10

GPS(Global Positioning System)是一个卫星导航系统, 为高准确度和全球覆盖而设计。现有的卫星群包括 25 个工作卫星。这些卫星发射数字调制的扩展频谱信号, 其载频为 1.226GHz 及 1.575GHz, 功率电平为 -130dBm, 大大低于背景热噪声。该

1.575GHz 载波被卫星上一个特定的伪随机噪声 (PRN) 码(C/A 码)调制, 码元率为 1.023MHz。这就有效地展宽频谱到 2MHz。一个卫星基于它所用的 PRN 码能被识别并被跟踪。这是以产生一个 PRN 码的本机复制码并用一种相关技术跟踪该卫星来做到的。对于准确的三维定位需要 4 个卫星。

## 2 差分 GPS

由于探空仪是一次性产品。所以用在探空仪上的 GPS 接收机价格必需尽可能的低。为此, 无线电探空仪上的 GPS 测风系统是以差分 GPS 为基础的。方法是用两个 GPS 接收机和一个它们之间的通讯线路。留在探空仪上的 GPS 信号的资料处理尽量少, 实际的风计算由地面站作, 从而能使 GPS 探空仪成本降到很低。

在探空仪上的低成本 GPS 接收机跟踪 4 个卫星, 并用码相关技术提取到这些卫星的伪距(离)。这技术消除对 GPS 信号的扩展频谱调制, 并由此形成一个窄频带信号。这包含伪距的窄频带信号(1200 波特)由探空仪上的 403MHz 调频发射机发送到地面站。图 1 为差分 GPS 示意图。

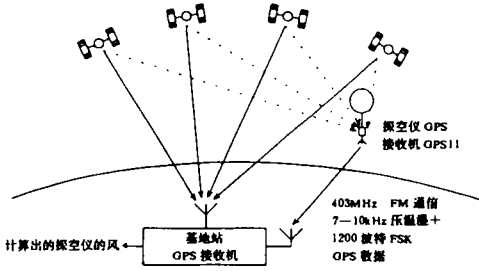


图 1 差分 GPS 示意图

地面站接收几个伪距并对它们作差分校正,并根据已校正的伪距计算出高空风。这样算出的风,其准确度甚至比用完备的 GPS 接收机能够作到的还好。因为对所有接收机来说误差是共同的,从而可用数学方法消除。

GPS 信号带宽为 2MHz,这意味着探空仪接收机不能转发该信号到基地站,因为这会占据太多的发射带宽,这表示必需在用已有的窄带遥测信道把 GPS 信号传送到基地站之前用某种办法把扩展频谱信号除去。

基本上有 4 种对 GPS 信号解扩频方法:①用码相关技术;②用平方接收机拓朴法;③用码相位接收机拓朴法;④用转发器。

## 2.1 码相关

每一个卫星有它自己独特的伪随机噪声(PRN)码,它扩展频谱并使码分多址连接(CDMA)技术成为可能。依据一个卫星所用的 PRN 码就能捕获这个卫星并跟踪它。这是用产生一个本机复制的卫星码并找两个信号的相关来作到。这码相关技术给出到所对应卫星的伪距。对三维导航需要 4 个卫星的伪距,以消除时钟误差及其他误差。伪距与真距离稍有不同,因为由于时钟不准、传递延时以及“SA”干扰等有一些小误差。这些误差能用差分 GPS 进行数学校正,因为它们对那些接收机是共同的。这就提高相对定位的准确度达到 10m,相对风速的准确度达到 0.1m/s。用码相关方法得到的好处是,伪距最终是单值的,假如卫星信号丢失,也能很快再捕获卫星。该伪距能用一很窄的频带宽(1200 波特)送到基地站。这对无线电探空仪的使用是一个重要的方面。

## 2.2 平方方法

GPS 信号也能用平方法接收。这时,被二进制相移键控(BPSK)调制的 GPS 信号被平方(自乘),这就产生一个直流分量加一个两倍于原始信号频率的信号。而该 BPSK 调制的卫星码在平方过程中失去。此

平方了的信号十分窄(约 8kHz),因为它基本上只包含所有在视野内的卫星由于运动引起的多普勒频移( $\pm 4\text{kHz}$ )。为了跟踪卫星,接收机必需识别各卫星的多普勒频移及其方向,为了找出隐藏在噪声中的卫星信号,跟踪滤波器必需很窄( $\sim 10\text{Hz}$ )。本平方方法需要某种程度的“智能”,才能在假如卫星信号丢失时能很快找到卫星。否则由于跟踪滤波器很窄需要较多时间才能再找到。由于 GPS 信号有一个  $-130\text{dBm}$  的电平,即低于热噪声 20dB,为一负的信噪比。该信号电平在平方操作中降到 1/4,这就是说在这系统中有 9dB 的转换损失,该负的信噪比也加倍。用于无线电探空仪的平方 GPS 接收机有专利 [Pat U. S 1988. P1],但没有以这方法用于无线电探空仪的真实产品。当卫星在各时间的仰角已知时,基地站能根据其多普勒频移计算出探空仪的运动。

## 2.3 码相位接收机

码相位接收机是无码 GPS 接收机的第二类型。它的基本概念是以 C/A 码元的一半即 487ns(纳秒),准确地延迟接收到的 GPS 信号,并使直接的信号与延迟的信号交叉相关(Wells 等,1986)。这方法不需要了解码本身,只需要它的码元率。当该交叉相关信号被过滤,该码时序相位能被解出。这种接收机会受到码相位模糊的干扰,而平方接收机则要受到载波相位模糊的干扰。该码相位信息包含卫星的多普勒频移,由于所有的 GPS 信号从同一个 GPS 星钟( $=10.23\text{MHz}$ )得来,因此是相干的,同时 BPSK 调制的卫星信号也失去。

## 2.4 转发器

真正的转发器方法把 GPS 扩展频谱信号传到基地站用于探空仪是不可行的,因为它要占据太多的带宽(Nordwall,1993)。但它提供了一个方法,使 2MHz GPS 信号数字化并被压缩,使带宽压到 100kHz 左右。这不是真的低带宽解决办法,这种差分 GPS 的准确度(0.2m/s)还不如码相关方法好。

## 3 探空仪 GPS 接收机 GPS11

Vaisala 用在探空仪上的 GPS 接收机方法是基于码相关技术,得到的是一种低价格的接收机。而复杂部分是在基地站内。探空仪 GPS 接收机 GPS11 型由下列组件组成(图 2):GPS 天线、低噪声放大器(LNA)、GPS 接收机、相关器(Correlator)。

天线的增益方向图可使探空仪摆动(最大  $30^\circ$ )的影响不致“放掉”卫星,这意味着地平线下还有天线增益。天线必须在全天线射束上保持右手圆极

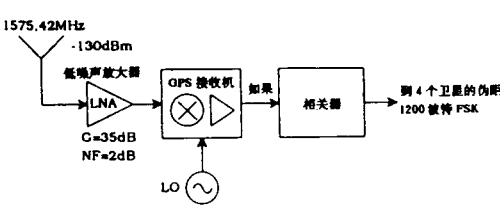


图 2 GPS11 方框图

化 GPS 信号。接收机的噪声指数必须尽可能的低( $< 3\text{dB}$ ),用一个有足够增益(35dB)和低噪声指数(2dB)的低噪声放大器(LNA)来作到这一点。

GPS 接收机把 1.5GHz 扩展频谱信号用直接转换法降频到低很多的中频(IF)。它也提供了更大的增益(总的 100dB)使噪声信号达到较易处理的水平。低噪声放大器和 GPS 接收机装在同一块低价格双面板上以使成本降低。接收机部分的大小为  $70 \times 80\text{mm}^2$  并有防干扰屏蔽。

相关器搜索到并跟踪 4 个卫星,进行连续的伪距测量。每秒钟把新的到 4 个卫星的伪距用 1200 波特移频键控(FSK)调制发送到地面。该 FSK 信号能直接调制探空仪上的 400MHz 发射机,形成到原有硬件的一个很廉价的接口。相关器模块的大小( $70 \times 70\text{mm}^2$ )和接收机的大小差不多。为成本考虑它是一块双层板。这样,这两块板可以装在各自的顶上,作成 一个紧凑的接收机,约 40mm 高。此 GPS11 组件是一个附加在原有探空仪上的组件。

#### 4 基地站上的 GPS 接收机

现有的探空仪地面设备 DigiCor/Marwin 将接收到的 403MHz 调频信号送到基地站 GPS 接收机,然后 FSK 信号被解调并且算出探空仪的风。基地站 GPS 接收机作为一个附加在现有 Vaisala 地面设备

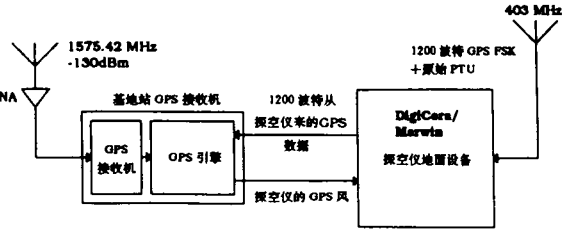


图 3 基地站 GPS 接收机

上的组件提供给用户。该接收机是一个完备的接收机、它也能处理差分 GPS。该接收机的概要见图 3。

GPS 天线及低噪声放大器可以是在市场上购来的,有足够增益与低噪声指数的接插天线。假如天线装在远离接收机的地方,其增益必须超过同轴电缆的损失。

GPS 信号在被送到“GPS 引擎”进一步处理之前先要被降频转换并放大。“GPS 引擎”执行从卫星上取下数据和当地伪距测量。基地站上的 GPS 接收机和探空仪一样跟踪同样的 4 颗卫星以得到两组伪距,供差分定位用。从探空仪得出的伪距被差分修正,并以此修正后的伪距为基础计算出探空仪的风,给出的准确度见表 1。

计算出的探空仪的风被送回 DigiCor/Marwin 与标准的气象数据合并。

#### 5 初步的试验结果

现在 Vaisala 公司正在进行完全的地面试验。在地面上的主要试验结果表明:差分 GPS 的理论准确度能达到。

易仕明译自 *WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation, TECO-94, March 1994* 文昌校

## 气象科技

(季刊, 1973 年创刊)

1996 年第 1 期(总 145 期)

主办单位 气象科技情报研究所  
 编辑 气象科技编辑部  
 (主编 汪永起)  
 出版 气象出版社  
 (北京西郊白石桥路 46 号)  
 印刷装订 中国地质大学(北京)轻印刷厂  
 一九九六年三月出版

国内统一刊号 CN11-2374 (国内发行) 定价:5.00 元