

差分 GPS 文集

DIFFERENTIAL GPS SYMPOSIUM

主 编 刘徐德
责任主编 谢洪华 邱致和



机械电子工业部第二十研究所

差分 GPS 文集

主 编	刘徐德
责任主编	谢洪华 邱致和
责任编辑	崔文华

机械电子工业部第二十研究所

内 容 提 要

本书全面系统地介绍差分 GPS 的系统和技术，一共收集论文和美国政府研究报告 19 篇，内容包括差分 GPS 的原理，信号格式，差分数据链，差分系统体制，以及差分 GPS 在航空和航海中的应用。

本书可作为大专院校有关专业的教师、研究生和高年级学生的教学和研究参考，也可供从事导航、定位、测绘以及航空航海专业的工程技术人员参考。

前 言

全球定位系统(GPS)是一种以空间卫星为基础的无线电导航与定位系统,借助于 21 颗(外加 3 颗备份)人造卫星,能为世界上任何地方,包括空中、陆上、海上、甚至于外层空间的用户,全天候、全时间、连续地提供精确的三维位置,三维速度以及时间信息。因此, GPS 将在各种军事和民用部门获得广泛的应用。

GPS 系统提供两种类型的服务。一种为精密定位服务 (PPS), 使用 P 码, 只供美国及其盟国的军事部门和获准的民用部门使用。另一种为标准定位服务 (SPS), 使用 C/A 码, 向全世界用户开放。其所能提供的精度分别为:

PPS	水平	17.8 米(2drms)	SPS	水平	100 米 (2drms)
	垂直	27.7 米(2 σ)		垂直	156 米 (2 σ)
	时间	90 纳秒(最大误差)		时间	175 纳秒(最大误差)

美国为了自己的利益, 故意地降低了 SPS 的精度, 其中最主要的是采取了选择可用性这样的措施。

然而, 对于一些要求更高精度的应用场合, 如港口导航、飞机精密进场、大地测绘、导弹轨迹测量等, SPS 服务, 甚至 PPS 服务, 精度还显得不够。因此, 进一步提高 GPS 的精度, 对军事和民用来说都具有重大意义。其中尤其是差分技术, 成为近年来世界各国竞相研究的课题。

所谓差分 GPS, 是把一部基准 GPS 接收机放在位置已精确测定的点上, 将这部 GPS 接收机产生的定位数据与其准确的位置相比较, 以求得 GPS 系统在该点的位置或伪距测量误差, 再将这些误差值通过发射台(差分台)发播出去。附近的 GPS 用户在接收到来自差分台的误差信号之后, 便用以校准自己的 GPS 测量值, 从而达到提高其精度的效果。差分技术的基础是, 在同一地区内, GPS 缓慢变化的系统误差, 包括选择可用性, 其对定位精度的影响是相同或相近的, 因此经差分处理后会显著地消除它们, 从而改善系统精度, 这已为理论分析和实际试验所证明。

为了促进我国差分 GPS 技术的发展, 我们决定出版这本文集, 其中包括近年来各国有关用于导航的差分 GPS 技术各个方面的研究, 有原理探讨、设备的构成、数据链设计、系统工程论证、外场试验方法与结果、以及在航空航海方面的应用, 还有差分信号格式国际推荐意见, 以期为教学、科研、决策和其它工程技术人员作参考。

在 GPS 即将投入全面使用的时候, 希望本文集能起到一定的推动作用。

机电部 20 所所长 干国强
导航学会主任委员

目 录

1. 差分 GPS 方法综述	(1)
2. 104 专委会关于差分 GPS 工作的推荐意见	(8)
3. 港口和港口入口海上导航用的差分 GPS 设计原理	(21)
4. 差分 GPS 的中波数据链	(49)
5. 使用海上无线电信标的 DGPS 通讯测试报告	(89)
6. 基于无线电信标的差分 GPS 网的覆盖	(100)
7. 差分 GPS 地面系统所用的 GPS 接收机的规范	(106)
8. 差分 GPS 基准台的校正算法	(113)
9. 差分 GPS 模拟与分析	(123)
10. 选择可用性对差分 GPS 校正的影响	(139)
11. 差分 GPS 在民用直升机上的应用	(150)
12. 差分 GPS 用于进场和着陆	(189)
13. GPS 用于防撞、精密进场和着陆的可行性	(197)
14. 利用 GPS / GLONASS 完成精密进场	(225)
15. RTCM SC-104 推荐伪卫星信号规范	(240)
16. 伪卫星辅助 GPS 方案的比较	(253)
17. 扩展差分 GPS	(259)
18. ASHTECH XII 用于差分 GPS	(275)
19. 实现 GPS 系统的进一步完善以及减小性能恶化的区域	(280)

差分 GPS 方法综述

1. 引言

GPS 是一种高精度的卫星导航系统。利用 P 码时的典型定位精度为 10 米 (均方根, 每轴); 测速精度为 0.1 米/秒(均方根, 每轴); 授时精度为 0.1 微秒⁽¹⁾。虽然对导航来说, 这种精度是非常好的, 但在某些应用中却需要更精确的定位信息。

一种愈来愈引起人们重视的改进 GPS 定位性能的技术便是使用差分 GPS 处理。它需要使用来自本地 GPS 基准接收机 (RR) 的数据 (RR 安装在用户 GPS 接收机附近), 这样就可从用户的位置测量中消除那些对两接收机公共的误差, 从而可大大提高用户的定位精度。有几种实现差分 GPS 的方案, 本文讨论其中一些, 并把它们作一比较。

2. GPS 误差源

GPS 接收机是依据它到一组卫星的距离、卫星轨道信息和卫星发射的时间信息来计算其位置的。每颗卫星发射它的识别码、时间、卫星星历校正以及许多其它数据 (例如, 卫星工作状态、钟误差、漂移率等)。实质上, 接收机是通过测量信号的接收时间 (使用接收机钟) 和发射时间之差来获得其对卫星的距离的。由于用户钟误差相对于要求的测距精度 (英尺级) 可能较大, 故把用户测得的距离称为伪距离 (PR)。因此, 为消除用户钟误差的影响和获得三维定位, 需要测量对 4 颗卫星的伪距离。

在上述定位过程中存在一些误差源, 然而, 我们感兴趣的是对用户接收机和 RR 两者公共的、从而可消除或显著降低其影响的那些误差源。它们主要有卫星钟误差、星历数据误差以及不能由用户测量或校正模型来计算的传播延迟误差。当两接收机靠近 (约 100 海里以内) 并使用同一定位星组时, 则上述误差对两接收机将是一样的, 并可用差分技术来消除 (或基本消除) 它们的影响。

用户位置的另一个误差源是选择可用性 (SA), 加 SA 时, 允许利用的 C/A 码水平定位精度为 100 米 (2dRMS), 只有得到批准的用户才能使用 P 码。然而, 当采用差分 GPS 技术时, 可使利用 C/A 码的民用用户在 RR 附近的本地区内基本上消除 SA 的影响, 其效果和消除其它公共误差的影响一样好。在定位处理中两接收机之间不相关的其它误差源是: 接收机通道间偏差、接收机噪声、量化误差和本地多路径影响。

表 1 为典型误差预算, 它表示信噪密度比 $C/N_0 = 38\text{dB-Hz}$ 时静止用户 (绝对定位方式) 的等效测距误差 (UERE) 和定位精度。卫星钟误差和星历误差对 P 码和 C/A 码工作都是一样的。对 P 码工作来说, 电离层延迟误差是由双频测量来确定的, 而 C/A 码工作时是用电离层模型进行估算的, 因此其精度较差。对流层延迟误差对 P 码和 C/A 码工作都是用模型来进行估算的, 因此两者的误差相同。接收机噪声和量化误差是不相关的, 并且 P 码工作时是 C/A 码工作时的 1/10, 这是由于两种码的带宽相差 10 倍。接收机

通道间偏差可看作是当所有 4 个通道同时跟踪同一颗卫星时产生的伪距离 (PR) 测量差。多路径误差在接收机位置和天线安装确定后便是一定的, 因此在两接收机之间是不相关的。

表 1 GPS 静止用户误差预算⁽⁴⁾

误差源	预计误差(英尺)	
卫星钟误差	10	
星历误差	8.6	
	P 码	C/A 码
电离层延迟误差	1.3	21.0
对流层延迟误差	1.3	1.3
接收机噪声/量化误差	0.8	8.0
接收机通道间偏差	0.5	2.0
多路径误差	4.0	10.0
UERE (RMS)	13.9	27.9
总的 位置 误差		
均方根水平(X, Y)位置误差(设 HDOP = 1.5)	21	42
均方根垂直(Z)位置误差(设 VDOP = 2.5)	35	70

3.差分 GPS 误差预算

图 1 表示利用差分 GPS 技术消除公共误差的原理。处于已知位置上的 RR 测量到一颗 GPS 卫星的距离。这个测得的距离包括到这颗卫星的真实距离加上几个误差。为了便于表示, 我们把这些误差看成是可加的, 它包括卫星钟误差、对流层延迟和电离层延迟。由于 RR 的位置坐标已知, 所以利用星历数据就可以由计算得到 RR 到此卫星的距离; 然而, 计算距离中也存在星历误差, 所以测量距离和计算距离之间的差包括所有上述讨论的误差。如果把它作为距离校正加到远处 GPS 用户的测量距离中去, 那么用户就可获得一个“校正过”的距离 $R_{校正}$ 。为清楚起见, 在此图中假设接收机的钟偏差已从卫星距离测量中消除了, 并且未表示非公共的每部接收机固有的误差(例如, 接收机噪声、量化误差或本地多路径误差)。

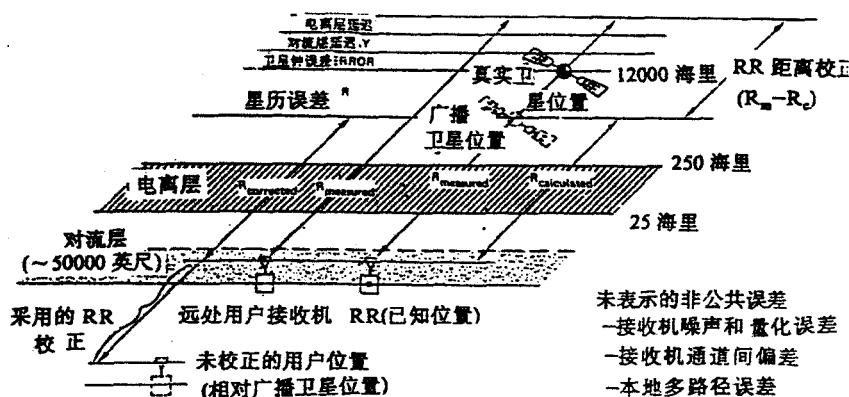


图 1 利用差分 GPS 消除公共误差的原理

假设两接收机利用同样一组卫星定位, 显然卫星钟和星历误差对两者是公共的, 并且由于电离层高度高 (25-250 海里), 所以电离层延迟大部分是公共的。

随着远处用户接收机和 RR 距离的增大, 由于观测卫星的角度不同, 所以两接收机对电离层延迟和卫星星历误差的相关性会稍微变差。文献[2]在估算了两接收机之间星历误差的差别后指出, 当两接收机分开 100 海里, 并且所有的星历误差都处于沿轨道方向 (即最坏情况) 时, 100 米的星历误差产生 0.5 米左右的定位误差。要估算随两接收机分开的距离增加, 而电离层延迟相关性的减弱程度是较困难的, 这是由于电离层有昼夜和季节性的变化。文献[3]报告了利用第一阶段 GPS 设备进行的野外静态差分试验的测量结果, 它表明, 当两接收机分开距离达 300 海里时, 仍可采用差分 GPS 技术。

然而, 对流层延迟仅当两接收机处于相同高度并比较接近时 (约 50 英里) 才期望它有公共性。表 2 是差分 GPS 的标准误差预算[4], 表中的电离层和对流层误差值是在用差分 GPS 处理后的剩余的非公共型误差。表 2 中的接收机通道间偏差、噪声和多路径误差估算同表 1。

表 2 差分 GPS 误差预算⁽⁴⁾

误差源	预计误差(英尺)	
剩余卫星钟误差	0	
剩余星历误差	0	
	P 码	C/A 码
剩余电离层/对流层延迟误差	0.5	0.5
接收机通道间偏差	0.5	2.0
接收机噪声	0.8	8.0
多径路	4.0	10.0
UERE(RMS)	4.2	13.0
总的位置误差		
均方根水平位置误差(设 HDOP=1.5)	6.3	19.5
均方根垂直位置误差(设 VDOP=2.5)	10.5	32.5

注:假设远处用户接收机与 RR 相距 50 海里

应注意的是,表 1 和表 2 中的误差估算是假设接收机 $C/N_0 = 38\text{db-Hz}$ 得到的。在较坏的信号条件下(例如,失锁),将使接收机噪声约增加 3 倍,它增加表 1 中的电离层延迟测量误差(P 码)以及接收机噪声/量化误差值(C/A 和 P 码)。然而,在较坏的信号条件下,在差分工作方式时的误差预算仅增加表 2 中的接收机噪声/量化误差,这是因为电离层延迟是公共的而不必测量。在本文所述的差分 GPS 方法中,假设远处用户接收机和 RR 都不必从它们自己的数据中消去电离层延迟(因为假设它们是公共的)。然而,对流层延迟是假设由每一接收机各自来估算的,因为用户高度不同而使这些延迟也不相同。

4. 实现差分 GPS 的方法

在 GPS 用户接收机和基准接收机之间完成差分 GPS 工作有两种基本的技术:可把测量值(PR 数据)或把求解值(位置数据)作为校正量。由这两种方法得到的最后位置精度应基本相同,它们的主要差别在于用户接收机和基准接收机之间必须传递的专用数据不同,以及通信路径是采用上行还是下行(或两者均用)。所讨论的全部方案都可使用户独立选择 4 星组合,并可为多个用户服务。

方法 1(图 2)——上行传输伪距校正和在用户运载体上处理:这种方法需要已知 RR 的位置,RR 测量到所有可见卫星(典型为 7 颗)的 PR,并把到各卫星的计算距离和测量距离之差计算出来。该差值是在消除接收机钟偏差影响后取得的,且对每颗卫星的计算距离都使用了由星历电文确定的卫星位置。因为卫星在运动而且可能实行选择可能性(SA),所以也应计算上行给用户使用的每颗卫星的 PR 校正的变化速率。计入 PR 校正变化率的另一个原因是上行校正数据仅需每隔 6 秒左右发射一次。在此方法中,RR 不需要知道某一给定用户正在使用哪一个 4 星组合,这是由于所广播的 PR 校正是对所有可见卫星的。因此,每一用户可选择自己所需的一组校正,并把它们用于其位置处理计算中去。图 2 说明了这个方法。

在方法 1 中,必须上行发射的数据包括:

- PR 校正(每颗可见卫星)
- PR 校正变化率(每颗可见卫星)
- RR 使用的星历数据经时(AODE)(每颗卫星)

包括 AODE 项是为了保证 RR 和远处用户接收机使用相同的星历和钟校正数据,因为其中一部接收机在另一部之前可能读出并使用最新的上行注入的数据。此法的优点是可以接收和使用差分校正数据的用户数量无限制,并可在用户运载体上直接获得校正过的位置数据以用于精密导航。其缺点是要求上行通信能力,并需要载体上用户 GPS 接收机加入校正数据。

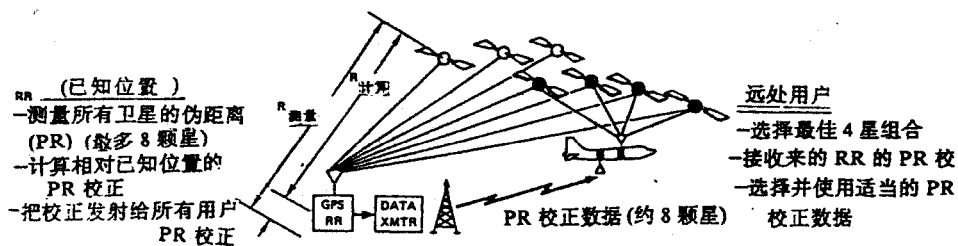


图 2 差分 GPS(方法 1)

方法 2 (图 3) ——上行传输位置校正和在用户运载上处理:此法与方法 1 相似的是 RR 位置是已知的,但这里是根据已知的 RR 位置坐标与 GPS 测量坐标之间的差来计算校正数据的。原理上,可以把这些坐标误差 (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ) 上行给用户,以便用户校正其导航解。当然,用来导出位置校正量时所用的定位星必须与用户所选用的一致。对方法 2,必须上行发射的数据包括:

- ΔX 、 ΔY 、 ΔZ (对每一用户选用的定位星组)
- 校正量的变化率(ΔX 、 ΔY 、 ΔZ)
- AODE (每一卫星)
- 用户地址。

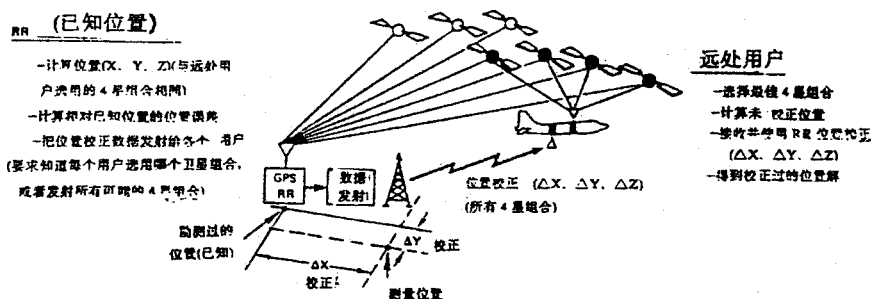
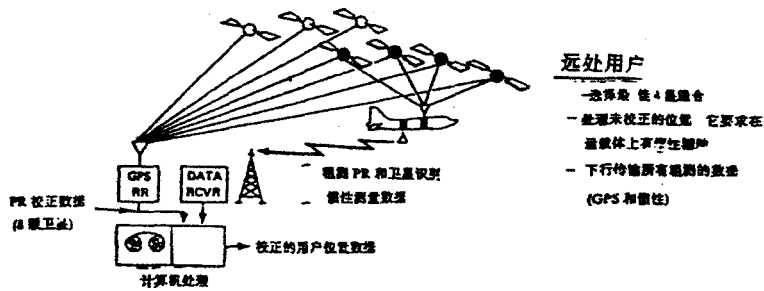


图 3 差分 GPS(方法 2)

此法的优点(同方法 1)是可在用户运载体上获得校正位置数据。然而其缺点超过了优点。首先它需要较大的上行通信能力和需要用户进行校正的处理量较大。第二,用户可能需要下行通信以报告用户所选的 4 星组合。较重要的是,当多个用户工作时(由于运载体结构对天线遮挡的影响,所以要求所有的用户都使用同一组 4 颗卫星是不实际的),如果水平线以上有 8 颗卫星的话,那么就可能有直至 70 组 4 颗卫星的组合。这样,设计者就必须采用下述方法之一:(1)所有用户都使用相同的一组 4 颗卫星的组合;(2)每一用户进行下行通信,以报告其选用的 4 星组合,以便 RR 给每一用户产生适当的校正项;(3)RR 地面系统广播对所有可能 4 星组的校正。

方法 3(图 4)——下行传输所有用户的粗测数据和地面差分处理:此法的差分校正测量值,与前两法不同的是差分处理是在 RR 处完成的。此法可利用容量大的地面计算机来完成比远处用户导航处理器一般可能完成的更为复杂的处理。另外,在没有上行通信可用和在用户运载体上不需要校正后的位置数据时可以使用此法。此法的下行数据包括惯性传感器数据,为了保持精度和在机动时出现卫星遮挡的情况下保持位置数据完整性,高

动态用户通常需要这种数据。每一用户的下行数据是:



- 4 个 PR 和 PR 变化率
- 4 颗卫星的 ID
- AODE(每一颗卫星)
- 接收机的 ID
- 用户时间
- 测量参数估算
- IRU 姿态变化率(3)
- IRU 加速度(3)
- 姿态估算(方向余弦)
- 所有测量数据的准确时间标记。

如方法 1 那样,RR 产生对所有可见卫星的 PR 校正。这些数据与每一用户的下行数据一起输给基准地面位置处理系统处理。

如上所述,方法 3 的优点是不需要上行通信,并且较大的地面处理设备可用来进行差分导航解。缺点是需要大量的下行粗测数据。此外,如果用户需要在运载体上取得校正后的数据,那么也就需要上行通信。

方法 4(图 5)——下行传输未校正的用户位置数据和地面差分处理:此法在求解时完成差分校正,并且在 RR 位置已知或未知的情况下都可使用。方法 4 用于下列场合:(1) 远处用户平台不需要校正位置数据的应用;(2) 不能提供上行通信和在用户运载体上进行差分处理的地方;(3) 当大量的粗测数据不容易下行通信传输时。方法 4 需要每一用户下行通信传输它的未校正位置数据以及它所选用的卫星星组。RR(当它的位置已知时)可计算出(ΔX 、 ΔY 、 ΔZ)校正(使用的卫星星组与用户选用的相同)。然后把这些校正加到相应用户的 (X 、 Y 、 Z) 位置数据中去以获得差分校正后的位置数据。当然,每一独立的一组 RR 校正 (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ) 都必须是相应每一用户特有的一组 4 星星组而取得的。如果独立的导航处理器(它处理 RR 的 8 组卫星测量)数不多,那么建议采用 8 个 PR 校正的设备,利用简单的矩阵变换以求出 4 个 (ΔX 、 ΔY 、 ΔZ) 校正的每一组(相应于每个用户所选的星组)。

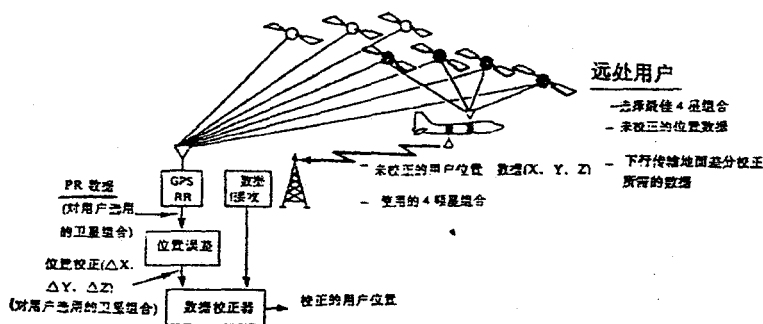


图 5 差分 GPS(方法 4)

当 RR 位置不能精确已知时 (例如在海上运用), 便可以使用方法 4 把未校正的用户位置 (包括卫星编号) 进行下行传输, 并在独立的对每一卫星星组的导航处理器中求出这些数据与 RR 测量位置 (所使用的定位星组与用户的相同) 之差。此方法称作相对 GPS, 这是因为所得到的用户位置不是地球上的绝对位置, 而是相对 RR 的, 可把 RR 取作本地切面的原点。必须由每一用户下行通信传输的数据是:

- 未校正的用户位置 (X、Y、Z)
- 卫星 ID
- 数据测量时间
- AODE(每一卫星)

5.摘要和结论

在上述 4 种不同的方法中, 方法 1 (广播 PR 校正) 和方法 2 (上行传输位置校正) 能使得在远处用户运载体上获得校正过的数据。在需要获得精密的运载体导航的应用中, 这是基本的方法。当必须适应大量的用户运载体工作时, 方法 1 便是最佳的, 这是因为不管一个用户选用什么样的卫星组合, 采用对 8 颗卫星的 PR 校正数据是足够的。当多个用户选用不同的卫星星组时, 方法 2 最不好。

需要下行传输用户 GPS 数据给地面进行精确处理的方法 (方法 3 和 4) 对于在中心 RR 处需要精密位置数据的地方是较有用的 (例如, 试验靶场目标控制应用或为获得较高弹道精度的事后飞行处理)。方法 3 (下行传输所有新的 PR, 对高动态用户, 如果使用惯性辅助的话, 还需要下行传输惯性数据) 实现起来最复杂, 这是由于对数据通信完善性要求高 (以便保持地面导航处理滤波器的连续性) 以及需要多个地面处理器 (当有多个用户时)。方法 4 虽然对下行通信的数据量要求降低了, 但是还是需要独立的差分解处理器 (当多个用户使用不同的卫星星组时)。

差分 GPS 与绝对导航方式相比的优点是: 对获得国防部批准的 P 码用户, 精度可改善 3 倍; 对 C/A 码民用用户 (当包括选择可用性时), 精度改善更是惊人, 达到 10 倍是可能的。

译自: ION1985 会议录

译者: 魏还毅

校者: 栗恒义

104 专委会关于差分 GPS 工作的 的 推 荐 意 见

[摘要]海运事业无线电技术委员会(RTCM)于 1983 年 11 月为差分 GPS 业务设立了 104 专委会,以便论述用于提供差分 GPS 业务的各种方法并制定各种数据格式标准。该专委会已结束了其计划中的第一阶段工作,这些工作涉及数据电文及其标准格式,关于通讯频段的建议以及关于伪卫星设计的建议。本文阐述了 RTCM SC-104 的几点推荐意见。标准电文提供了距离及距离变化率校正、卫星和地面站的状态,以及数据发出时间(它提供卫星电文的发布计时)。对电文需要偶尔插入的辅助电文也作了规定,这些电文提供了地面站的位置、星座的工作状态、对流层模型参数及用以校正卫星电文变化的附加距离修正量。还规定了一种供勘测应用的专用型电文。这种电文提供使用载波相位测量所得的高精度多卜勒计数,使得对于固定站来说其分辨力可能达到厘米级。文中对于无线电导航和无线电定位设备(无论公共的和专用的)的导航和通讯波段都作了规定。特别是海用无线电信标频段的使用,对于在港口引进和限制水路的情况下进行海上导航似乎很有吸引力。

背 景

研究差分 GPS 业务的 RTCM104 专委会已经建立,其主要任务是为 GPS 用户广播的差分修正数据标准研究出一些推荐意见,同时规定基准台与用户间的数据通讯格式。考虑到差分 GPS 具有潜在的海用以外的用途,委员会的标准条款需要同无线电技术委员会航空部门及其它的机构协调,并确保上述标准和推荐意见使差分 GPS 不限于使用在航海上。委员会的三个工作组及其负责人是:

数据电文和格式工作组——Ae J. Van Dierendonk 博士

通讯工作组——Nevin A. Pealer

伪卫星工作组——Thomas A. Stansell, Jr.

数据电文和格式的推荐意见包括几种考虑作为最终形式的标准电文。其余的电文为暂时的规定,但预期几年内在地面站或是用户都需要之前,即可定出最终的标准电文。第一种电文包括在地面基准台可见范围内的每一颗卫星的伪距和距离变化率的修正,同时还有卫星识别,数据发布时间(它确定卫星数据更新的时间),以及卫星和地面站工作状态。第二种电文考虑到用户有可能在其伪距计算中使用老的卫星数据,因此在电文中提供有附加的伪距修正。第三种电文给出了必要的辅助数据如基准台的位置、差分广播发射台的位置以及对流层修正系数。第四种电文是为勘测而用的,它有高精度载波相位测量值,同时还有伪距修正值和数据发布时间指示。对其它一些有用的辅助电文也已作了规定,而一部分电文经慎重考虑后没有作规定,这样,某些业务的提供就可以把那些没有定义的电文改造成自己的电文,以为它们的顾主服务。

通讯工作组确定了许多导航和通讯波段,它们可用于提供无线电导航和无线电定位服务。特别是对于海岸及港湾地区的海上覆盖范围推荐使用海上无线电信标波段。然而,在这些推荐意见被最终考虑之前,在这个波段内先进行数据传递的野外测试是很有必要的。这个计划目前正在进行,是由美国运输部的海岸警备队及调查和特别规划管理局实施的。

伪卫星工作组提出了一种设想,即采取一种很有希望的抗干扰工作方式,使用 GPS 频段来传送修正数据。但是,在该推荐被最终考虑之前,必须在野外验证这一设想。关于这一设想,在伪卫星工作组主持人 Thomas A. Stansell, Jr 的报告⁽²⁾中已有阐述,本文就不给以详细叙述了。

104 专委会不久将发布两个文件:第一个是关于数据电文和数据格式的一些确定的推荐意见,而第二个则是关于频段和伪卫星设计原理的一些暂定的推荐意见。

委员会试图尽可能广泛地适应各种团体用户,不仅包括海上的,还有陆上的和空中的用户。既保证定点定位,也支持导航应用。对标准数据传送接口采取了措施,使得利用不同的数据传送链的售主能接收各种修正数据。除了标准电文类型之外,同时也考虑到各代理商或各公司能定义他们自己的专用电文。我们确信,这些推荐格式将使这种新的高精度的定位技术得到各种最精确和独特的应用。

差分 GPS 概述

GPS 的差分工作方式对在动态下的各种导航应用能提供 5~20 米的精度,而对使用码相位测量的定点应用来说其精度则优于 3 米。差分 GPS 的基本原理与差分罗兰 C、差分奥米加及使用电子经纬仪的联测定位方式是相似的。在一个测定过的已知点上安置一台基准接收机,把由接收 GPS 信号得出的位置与已知位置进行比较,可确定出各修正值。然后把这些修正数据向邻近的用户广播出去,使它们可以利用这些数据来改进他们的定位解算。委员会的目的之一就是确定这些广播的内容和格式。

如果对全体用户来说大多数误差都是共同的因定误差时则可采用差分技术。GPS 正是这种情况。GPS 的几个主要误差如下所述:

1. 选择可用性误差——因为保密的缘故在卫星上引入了人为的误差,这种类型的伪距误差约为 30 米 (1σ)。可使用 GPS 精密定位业务 (PPS) 的用户拥有解开这些人为引入误差的“钥匙”,可彻底消除这些误差。

2. 电离层延迟——信号在电离层传播的群延迟白天为 20~30 米,夜间为 3~6 米。当在 PPS 双频工作方式时,该影响可根据延迟大小与使用频率的平方成反比的关系来大大减小。

3. 对流层延迟——由于较低的大气层的影响造成的信号传播延迟。对于低仰角的卫星,这个延迟可达 30 米,它们是很一致而且可模拟出来的。对低仰角卫星来说,在基准台和用户之间由于折射率的偏差可造成对流层的信号延迟相差 1~3 米。

4. 星历误差——指实际卫星位置和由卫星轨道数据预报出的卫星位置之间的偏差。在工作系统中该误差值一般很小 (小于 3 米)。

5. 星钟误差——指实际星钟时间与由卫星数据计算的时间之差。卫星信号定时用的振荡器是连续运转的, GPS 地面控制台对其进行监测并加以校正,将校正值上行加注给

卫星以重置数据电文。用户则读出这个数据并相应调节信号定时

只要基准台和用户接收机使用同一颗卫星的数据，由于星钟误差是一样的，所以就完全可以利用分差方式对其进行补偿。星历误差也同样可以利用差分方式抵消，除非该误差相当大，比如大于等于 30 米。影响信号定时的选择可用性误差也可利用差分方式抵消，除非在一个时间周期后修正值失效。对于距基准台很近的用户，由于各自对卫星的信号路径十分接近，误差几乎完全可以消除。而当用户和基准台之间的间距增加时，经过电离层、对流层的路径不同，可能相差甚远，这样，大气层的非均匀性可造成较为不同的延迟。在某种程度上它们的不一致可构成差分 GPS 测量中的一种类型误差。在用户与基准台间距较大时，这种误差也会显得较大。

显而易见，差分 GPS 是一种很有前途的高精度的导航和定位技术，它在民用界将会有大量的重要用途。

数据电文和数据格式的推荐意见

总 述

通用的电文格式与 GPS 导航电文相仿，如系统文件 ICD-GPS-200 所述。然而，由于在发展过程中会逐步暴露出不同的需要，推荐的格式与 GPS 电文之间多少有一些不一致。GPS 电文中的字长、字格式、奇偶校验规则及其它特性将继续保留。两种格式的主要差别在于 GPS 电文格式中各子帧的长度是固定的，而差分电文将采用可变长度的格式。

之所以要保留与 GPS 卫星数据格式共同点的原因如下：

1. 使用用户的软件有一定的通用性。
1. 为使用伪卫星传送差分数据提供条件。
3. 为防止使用可能影响用户可靠性的错误的修正数据，提供一种强有力的可检测错误的奇偶校验规则。
4. 大多数用户并不想依靠那些他们对其不能进行检查的数据链的奇偶校验。事实上，在许多用途中，或许并不需要数据链的奇偶校验。
5. GPS 奇偶校验规则是已知的，且已经过验证的技术。
6. 奇偶校验规则重迭字边缘并解决在双相调制数据传输中碰到的符号模棱两可的问题。
7. GPS 格式提供了一个较为便利的定时能力。

该数据格式未提供规定速率，但建议先假定速率最小值为每秒 50 比特，与 GPS 完全一样。（如果使用伪卫星的话，则希望更高些）。这种数据速率的要求是根据选择可用性引入的误差提出来的，而采用这种速率即使在连续丢失两组电文的情况下也能保证优于 5 米的精度。如果选择可用性政策发生改变而取消这种人为的误差时，则对数据速率的要求可降低一个数量级以上。

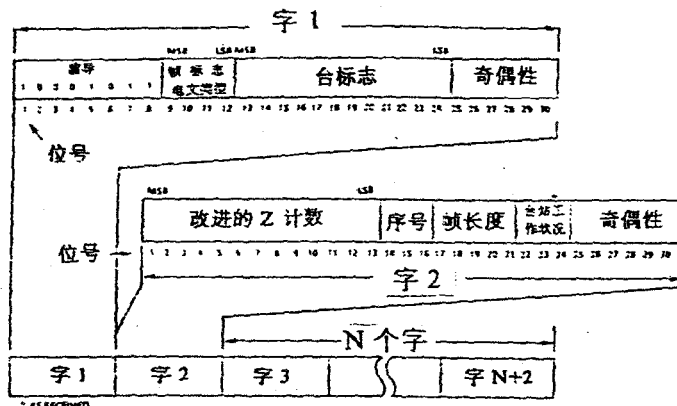


图 1 通用电文格式

图 1 给出了通用电文的格式。每帧电文由几个 30 比特的字组成，并且总是由两个标准字开头。这两个字包含下列信息：

1. 固定的序文
2. 电文类型识别标志
3. 台站识别标志
4. 定时数据
5. 电文帧长度
6. 台站工作状态信息

前两个字里的各位含义及其所占比特数如表 1 所示。其余各字的比特数则随电文类型的不同及在基准台可见范围内的卫星数量而改变，其数值在 0~31 之间（实际上很少大于 12）。Z 计数将原 GPS 卫星电文中的分辨率从 6 秒改进到 0.6 秒的等级，其范围仅为 1 个小时。

表 1 字 1 和字 2 的内容

	内容	比特数	比例因子和单位	范围
字 1	序 文	8	见参考文献 2	
	电文类型	4	1	1~16*
	台 标 志	12	1	0~4095
	奇 偶 性	6	见参考文献 2	
字 2	改进的 z 计数	13	0.6s	0~3599.4
	序 号	3	1	0~7
	帧长度: N+2	5	1 个字	2~33
	台站工作状态	3	—	8 种情况
	奇偶性	6	见参考文献 2	

。全零表示 16。

接收机可以用递增的序号来检验电文帧同步，而取代在使用卫星电文时用递增 z 计数来检验帧同步的办法。下一帧的起始位置则由帧长度数给出。

基准台的工作状态部分是一个 3 比特的码，它指示出当前基准台的测量数据质量怎样。

表 2 电文类型

类型号	电 文 类 型	类型号	电 文 类 型
1	差分校正	9	高速率差分校正
2	Δ 差分校正	10	P 码差分校正(保留)
3	基准台的参数	11	C/A 码 L_1 、 L_2 差分校正(保留)
4	测地(载波相位)	12	工作状态电文(ASCII 码字符串)
5	星座状况	13	未定义
6	空 帧	14	未定义
7	信标历书	15	未定义
8	伪卫星历书	16	专用电文(ASCII 码字符串)

共有 16 种电文允许使用，其中 11 种已作了定义，另外保留了两种用于特殊用途。各种类型电文均列于表 2 中。

电文类型 1

电文类型 1 是一种主要的电文，它包含有导航需要的伪距和距离变化率校正（见图 2 和表 3）。这样，每一差分 GPS 用户都可使用由这种差分技术获得的这些对 GPS 测量的校正来获得很高的精度。

由于无法保证基准台和用户均使用同样的卫星，所以伪距校正远比经纬度校正有用得多。在应用这些校正时，用户接收机的算法必须使用通常在卫星数据中的星历和星钟修正项，而无须任何电离层和对流层的模型。在这种方法中，潜在的不同模型的问题由用户去采用而不用基准台考虑了。

用电文 1 的参数对由接收机测得的卫星伪距进行如下的校正：

$$PR(t) = PR_m(t) + PR_0 + (dPR_0 / dt)(t - t_0)$$

式中 $PR_m(t)$ 是在 t 时刻测得的伪距，单位为米。 PR_0 是一个 16 比特的数，为 t_0 时刻的伪距校正量； dPR_0 / dt 为 8 比特的距离变化率修正量；而 t_0 则是字 2 中的 13 比特的改进的 z 计数，用于由 5 比特的卫星识别号 ID（标志其 PRN 号）所指示的那颗卫星。除此之外，还有一个 3 比特的卫星状况指示（见表 4），其中包含一个由基准台估算的在用户差分距离误差（UDRE）项中的差分误差估值。卫星状况并不仅仅是对卫星数据的重复，而是由基准台根据对伪距测量值和正确值的比较来决定的，数据和测量的质量也是如此。