

文章编号:1005-8451(2003)02-0034-04

机载 GPS 技术的现状与发展

朱 军

(西南交通大学 土木工程学院测量工程系, 成都 610031)

摘 要:机载 GPS 技术是当今国际摄影测量与遥感领域中引人关注的技术之一。从机载 GPS 数据处理方法、飞行及摄影过程对摄影坐标精度影响的分析、GPS 空中三角测量联合平差技术和机载 GPS 设备等几个方面介绍了这项技术的现状与发展,并对国内外主要的实验活动做了简要的介绍。

关键词:空中三角测量;机载 GPS 技术;进展

中图分类号:U212.241:TP39

文献标识码:A

Technology of GPS for aerial triangulation and its present situation

ZHU Jun

(School of Civil Engineering of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: Nowadays the technology of GPS for aerial triangulation is one of the hottest technologies in the realm of the international photogrammetry and remote sensing. This technique has been successfully used for many fields. In this paper, several aspects were introduced: methods of GPS data processing, impact on GPS camera position coordinates in the course of flying and shooting, adjustment technology for GPS aerial triangulation, GPS equipment, domestic and international experiment activities.

Keywords: aerotriangulation; technique of GPS for aerial triangulation; development

1 引言

机载 GPS 技术是集机载动态 GPS 接收机定位与航摄像片采集为一体的摄影测量技术。它涉及 GPS 的 2 个方面的应用:航线飞行导航以及减少空中三角测量平差中所需地面控制点的数量。在引入 GPS 及其测量数据以后,摄影测量发生了根本的变革,在用很少或根本不使用控制点的情况下取得的精度与常规摄影测量方法获得的相当,这就减少了大量的人力和物力的消耗,具有巨大的经济效益。北美和欧洲的一些国家从 1984 年以来,已经进行了多次飞行实验。我国也从 1989 年开始从事这方面的研究,并取得了一定的成果。随着机载 GPS 技术的日趋完善,机载 GPS 产品更加精密先进,机载 GPS 技术的应用已经越来越广泛。

2 机载 GPS 数据处理方法

在 GPS 动态定位中,其数据处理的方法目前最实际的一种就是所谓的运动中载波相位模糊度解法(Ambiguity Resolution On The Fly,简称 OTF 算法)。它

收稿日期:2002-07-23

作者简介:朱 军,在读硕士研究生。

是实现厘米级动态定位的关键。国内外学者相继提出一些 OTF 算法,具有代表性的是:模糊度函数法、最小二乘搜索法和模糊度协方差法。

模糊度函数法是以未知点的近似解为中心建立搜索空间,寻找使模糊度函数为最大的点作为未知点的解。其最大的优点是对周跳不敏感,缺点是计算量太大和使用包含在码观测值中的信息不是最优解。

最小二乘搜索法采用了码观测值,从而限制了搜索空间,其模糊度解的结构也减少了计算量。因而它所建立的判据是方差最小,而实际上方差最小时对应的模糊度未必是真值,加之数据可能受到对流层和电离层折射以及多路径的影响,故可能出现正确的模糊度在搜索开始时即被拒绝的情况。另外,它没有采用包含在载波相位观测值中与伪距变化有关的信息,其对错误解的拒绝准则主要基于当前的历元,因而易受上述噪声的影响。

模糊度协方差法的早期代表是 Frei 和 Beuter(1990)提出的模糊度快速逼近法(FARA)。这类方法是把所有的观测值一并进行卡尔曼滤波或加权最小二乘法处理,模糊度值也作为状态向量中的参数。其主要优点是采用所有观测信息,一般仅需最短的数据时间间隔即可确定正确的模糊度值。现在,有一种基于伪距、载波相位双差卡尔曼滤波的 OTF 方法比较常用。

该方法首先根据伪距、载波相位双差卡尔曼滤波给出模糊度的浮点估计值及其相应的方差阵构造搜索空间,然后对每一历元进行优化Cholesky分解搜索,若某一模糊度组合通过了Ratio检验和OVT检验,则该模糊度组合为正确的模糊度。

GPS观测值受到许多系统误差的影响。其中,卫星时钟和接收机时钟钟差可以通过双差完全消除。多路径效应在动态定位中主要呈现为随机误差且很难用模型描述,可以将它归于测量噪声。卫星星历误差、电离层延迟、对流层延迟的影响随距离、高差的增加而增大。为减少这些系统误差对OTF解算的影响,OTF解算的作用范围一般在距离20km,高差500m以内。如果采用适当的双频载波相位组合观测值,距离和高差的限制可以大大突破。这种双频组合观测值应该有较长的波长,以便削弱与频率无关的系统误差(星历误差、对流层延迟)的影响;另外应受电离层的影响相对较小并具有较小的测量噪声。如能进一步削弱各种系统误差的影响,OTF方法已可望推广到100km DGPS站间距离和10km高差的机载GPS动态载波相位测量场合。

3 航摄时的摄影中心坐标

机载GPS技术的实质在于利用测定的天线相位中心位置间接地确定摄站坐标(外方位元素)。由于在飞机飞行和摄影过程中不可避免要对摄影中心坐标产生影响。为了尽量减少其对摄影中心坐标精度的影响,在进行机载GPS测量的时候需要注意以下一些环节。

3.1 GPS天线相位中心位置的确定

3.1.1 GPS接收机天线位置安装的选择

目前,普遍使用的方法是将GPS接收机天线安装在相机正上方的机身上。采用这种方法优点是天线的相位中心位于相机的光轴线上,可简化测量和计算天线偏移矢量的工作。不过缺点是机身这一位置易产生多路径效应,从而导致位置精度下降,并且容易在飞机拐弯时使信号被遮挡,导致出现周跳。另外一种较新的方法是将天线安置在飞机机尾的平衡器上方,它能够克服前一种方法的缺点,但是计算天线的偏移矢量复杂。不过,如果一旦将天线与相机永久地安装在飞机上,则偏移矢量仅需确定一次就够了。

3.1.2 各GPS历元的天线相位中心位置的确定

利用安装在航摄飞机上的一台GPS接收机和安

置在地面参考站上的一台或几台GPS接收机同时测量GPS信号,通过GPS动态差分定位技术可获得各GPS历元的天线相位中心位置。为提高定位精度,一般采用基于载波相位观测值的动态差分定位方法。计算方法可采用最小二乘法或卡尔曼滤波。

3.1.3 曝光时刻GPS天线相位中心位置的内插

GPS动态定位提供的是各GPS观测历元动态接收天线的三维位置,而GPS辅助空中三角测量所需要的是某一曝光时刻航空摄影机的位置。由于曝光瞬间时刻不一定与GPS观测历元重合,摄影机曝光瞬间GPS天线位置必须根据相邻的天线位置内插解决。主要的内插误差与历元间接收天线的动态变化有关,如果提高GPS数据采样率、采用合适的内插方法,可以减少内插误差。

3.1.4 坐标转换及高程基准

GPS动态定位所提供的定位结果属于WGS-84坐标系,而工程应用中所需空中三角加密结果属于某一国家坐标系或地方坐标系。通常采用GPS基线向量网的约束平差进行坐标转换。约束平差在国家大地坐标系中进行,约束条件是属于国家大地坐标系的地面网点固定坐标、固定大地方位角和固定空间弦长。为进行机载天线位置的坐标转换,必须有2个以上的地面控制点。这些点有国家坐标系或地方坐标系中的坐标,且进行了GPS相对定位。在航飞时,将其中一控制点作为地面基准站,那么以该点为固定点条件进行约束平差,并将求得的欧拉角与尺度比用于转换机载天线-基准站的WGS-84系坐标差。

GPS定位所提供的是以WGS-84椭球面为基准的大地高,而实际所需要的是以似大地水准面为基准的正常高,高程基准的转换通过测区内若干已知正常高的控制点拟合建立高程异常模型。当测区地形变化较大时应该加地形改正进行。

3.2 GPS天线与摄影机偏心测量

为了不影响GPS卫星信号的接收,GPS天线一般安装在飞机顶部而航摄仪总是安装在飞机底部。可以将它们之间的偏心分量求解出来。偏心分量可采用近景摄影测量法、经纬仪测量法和平板玻璃直接投影法测定,这3种方法均可以厘米级精度测定偏心分量。实际上,在航空摄影过程中,为确保摄影机主光轴朝下对准飞行航迹,有时需要对安置相机的座架作适当的调整。这些小角度变化可在相机座架上观测得到,并由其所构成的旋转矩阵来乘偏心分量。

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} - R \cdot R_c \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ \omega \end{bmatrix} \dots\dots\dots 1)$$

式中 R_c 是由相机座架调整后的小角度，应当记录下来以方便上式使用。从理论上讲，在实际作业中这些小角度变化也必须加以考虑。在无地面控制情况下，用 GPS 光束法区域网平差得到的精度与天线 - 相机间偏心分量的测定精度密切相关。偏心分量测定误差越小，则区域网平差的精度越高，且偏心分量的平差值越接近真值。

4 GPS 空中三角测量联合平差技术

机载 GPS 接收机与地面基准点的 GPS 接收机同时、快速、连续地记录相同的 GPS 卫星信号，通过相对定位技术的离线数据后处理获取摄影机曝光时刻摄影中心的高精度三维坐标，将其作为区域平差中的附加非摄影测量观测值，以空中控制取代（或减少）地面控制；经采用统一的数学模型和算法，整体确定点位并对其质量进行评定。一般采用光束法来平差。GPS 辅助光束法联合平差的总误差方程式见参考文献[3]。

传统的空中三角测量主要是解决像片的外定向问题，而在实验室检定方法中，不能充分顾及动态航空摄影条件对航摄仪方位元素的影响，往往造成较大的偏差。而机载 GPS 可以在航空摄影时的同时以厘米级精度确定摄影中心的三维坐标。若将其作为带权观测值引入到平差运算中，则可极大地克服内外方位元素的强相关，保证法方程解的稳定，从而达到摄影测量平差中一并解求内、外方位元素的目的。

由自动空中三角测量中的多片影像匹配自动转点技术取代常规航测中像点坐标的人工量测，由 GPS 动态差分技术获得 GPS 摄影中心坐标，以空中控制取代或减少地面控制，即可使解析空中三角测量实现全自动化。

在实际生产中，GPS 摄影测量位置的坐标在区域网联合平差中十分有效，使用中等精度的 GPS 就能满足航摄测图的规范。

5 新型机载 GPS 仪器的主要特点

近年来，为适应机载 GPS 摄影测量的快速发展，一些测绘仪器生产厂家相继推出了新一代 GPS 仪器。

这些仪器提高了动态观测的定位精度、智能化程度和导航精度。同时，一些厂商也相继推出了新型航空摄影机，这些摄影机能尽可能地做到在接近设计曝光的位置曝光，从而实现精确定点曝光，十分实用。

6 国内外的主要实验活动及应用

在欧美国家，对 GPS 用于航空摄影测量的研究在 1982 年就开始了。大规模的实验活动在 1986 年以后开展起来，如荷兰 ITC 培训中心、法国国家地理研究院、挪威大学、德国墨尼黑大学和汉诺威大学等。现在机载 GPS 技术已经广泛地应用于航空重力测量、激光地形断面测量、激光水深测量、激光大地水准面测量、合成孔径雷达测图以及其它有关的国民经济和国防军事用途。

我国从 1989 年和 1993 年由西安测绘研究所组织了两次实验开始，1994 年 5 月在太原进行机载 GPS 航摄飞行实验，1995 年 7 月在天津蓟县地区进行生产实验。结果表明，GPS 技术已完全可以应用于实际航测作业。在其它地方已经实施了 GPS 航空摄影测量。目前已经有更多的部门和行业开始应用机载 GPS 技术，特别是在人难以涉足的地区，机载 GPS 是值得信赖的好方法。

7 机载 GPS 技术在铁路航测中应用的构想

对于铁路等线状地区的研究，一般需要单航线像片。在测图控制加密中，像片成直线形状的排列条件通常需要沿工程区周边有一个很大的地面控制网，这样要消耗巨大的人力和物力。但是，由于几何条件的限制，如采用无地面控制空中三角测量，测量结果的精度较低，不满足测图需要。如把有限数量的地面控制点同机载 GPS 结合起来，采用辅助空中三角测量，可以取得较好的测量结果。假如地面控制点配置合适的话，还可以用于高精度加密。对于特别狭长的控制区，可以通过增加与主要航带部分重叠或交叉的航摄飞行方法来提高精度和减少地面控制点数目。

8 结束语

在机载 GPS 技术中，如何才能尽最大努力提高精度，真正实现无地面控制点的空中三角测量是今后的一个重要研究方向。GPS 姿态测量是 GPS 应用的一

文章编号:1005-8451(2003)02-0037-03

基于层次细节技术的铁路网信息显示系统

余 洋, 杨 涛

摘 要:介绍了基于层次细节技术的铁路网信息显示系统的实现方法,重点讨论了显示铁路网上所有中间站的方法,用任意多边形区域选择多个支点、非支点站的方法和查询两支点站集合之间所有流量信息的方法。在实践的基础上,探讨了此技术在全国铁路网编组计划计算机自动编制项目上的应用,并展示了根据此方法编制的软件实际生成的计算机效果图。最后对软件开发实践中的经验和体会进行了总结。

关键词:层次细节技术;路网信息显示系统;中间站;流量
中图分类号:F530.32:TP391 文献标识码:A

Railway Network Information Display System based on LOD technique

YU Yang, YANG Tao

(School of Traffic and Transport of Northern Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract: It was introduced the practical method of the Railway Network Information Display System based on LOD technique and discussed the method of choosing multi-pivots and non-pivot stations with any polygon fields and the way to inquire all the volumes information between two pivot concourses. Based on the practice, the application in the auto-authorized the national railway plans of organizing into groups on railway network by computers was discussed. According to this method, the effect pictures on computer produced by the software were developed. A conclusion of the experience achieved from the course of software development practice was given.

Keywords: LOD technique; railway network display system; stage stations; volume

1 引言

根据铁路编组计划编制的需要,铁路网上所有车站可以分为3类:支点站,非支点站,中间站。支点站之间、非支点站之间、支点站和非支点站之间连接的铁路线路被称为路段,中间站均分布在这些路段上。铁路网上这3类车站的总数超过5000个,其中,分布在路段上的中间站数量最多,超过4000个,由此可见全国铁路网是一个大规模的路网,用传统方法

显示这样规模的路网效果不好,主要问题在于:路段上中间站之间间隔太小无法分辨,画面刷新速度慢。实践中,一般均采用简化路网和降低路网规模的方法解决这个问题。这种方法在改善路网显示效果的同时,也丢失了大量的路网信息,无法满足实际工作中对路网信息查询的进一步需要。因此研究既能改善路网显示效果,又能不丢失路网信息的显示技术具有重要的意义。文章在参考国内、外已有研究成果的基础上,重点阐述了基于层次细节技术的路网显示方法,用任意多边形区域选择多个支点站的方法和查询两支点站集合之间所有流量信息的方法。

收稿日期:2002-10-30

作者简介:余洋,在读硕士研究生;杨涛,在读硕士研究生。

个新领域,如能研制低成本GPS姿态系统和GPS/GLONASS组合的高精度的定位定向系统,将对发展我国的导航技术具有重要的作用,使机载GPS技术具有更广阔的应用前景。

参 考 文 献

[1]李德仁,关泽群.全球定位系统与地理信息系统的集成[M].武汉:测绘科技大学出版社,2000.

[2]李德仁.GPS用于摄影测量与遥感[M].北京:测绘出版社,1996.

[3]袁修孝.基于相位差分的GPS辅助光束法联合平差[D].武汉测绘科技大学硕士论文,1994.

[4]李德仁,袁修孝.GPS辅助光束法区域网平差—太原实验场GPS航测飞行实验结果[J].测绘学报,1995,23(2).

[5]李德仁,等.GPS辅助全自动空中三角测量[J].遥感学报,1997,1(4).