

◎ 研发、设计、测试 ◎

基于时间序列解决 GPS 信号定位漂移的研究

黄冠利¹, 王 辉², 徐华平³

HUANG Guan-li¹, WANG Hui², XU Hua-ping³

1. 北京电子科技职业学院, 北京 100029

2. 中国人民解放军 炮兵指挥学院, 河北 廊坊 065000

3. 北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083

1. Beijing Vocational College of Electronic Science and Technology, Beijing 100029, China

2. College of Artilleryman Command CPLA, Langfang, Hebei 065000, China

3. School of Electronics and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China

E-mail: huangguanli@sina.com

HUANG Guan-li, WANG Hui, XU Hua-ping. Research on drifting of GPS positioning based on temporal series. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(31): 94-97.

Abstract: How to make the balance among the signal power and solve GPS drifting problem have become the new research focus. It approaches temporal series algorithms that adjustment and checking are conducted in the GPS storage location. The purpose is for guaranteeing the quality of the relevant GPS software and not restricted by data type and source. Key parameters of the algorithm can be manually-controlled and suited to the different data sets and the movement objects. It makes improvement for the positioning accuracy of GPS data and makes certain development of economic and GPS technique.

Key words: problem of drifting; temporal series; autocorrelation coefficient; positioning accuracy

摘要:如何在信号的强弱之间做出平衡以解决 GPS 产品信号定位漂移问题的算法已成为新的研究热点。提出的基于时间序列的算法是在 GPS 数据的存储端进行数据的校验和调整, 以保证相关的 GPS 软件产品不受数据类型和来源的限制。该算法中的关键参数值都是可以人工控制、调整的, 以适应不同特点的数据集合及移动对象。从而提高了 GPS 定位数据的准确性, 具有一定的经济技术前景。

关键词: 漂移问题; 时间序列; 自相关系数; 定位精度

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.31.027 **文章编号:** 1002-8331(2008)31-0094-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP306

1 引言

全球定位系统 (Global Positioning System, GPS)。简单地说, 这是一个由覆盖全球的 24 颗卫星组成的卫星系统。这个系统可以保证在任意时刻, 地球上任意一点都可以同时观测到 4 颗卫星, 以保证卫星可以采集到该观测点的经纬度和高度, 以便实现导航、定位、授时等功能。这项技术可以用来引导飞机、船舶、车辆以及个人, 安全、准确地沿着选定的路线, 准时到达目的地。

GPS 全球卫星定位系统由三部分组成: 空间部分-GPS 星座; 地面控制部分-地面监控系统; 用户设备部分-GPS 信号接收机。由于 GPS 定位技术具有高精度、高效率 and 低成本的优点, 使其在各类大地测量控制网的加强改造和建立以及在公路工程测量和大型构造物的变形测量中得到了较为广泛的应用。进入 21 世纪, 全球定位系统 (GPS) 在各方面的应用都将加强和发展。在全球地基 GPS 连续运行站 (约 200 个) 的基础上所

组成的 IGS (International GPS Service), 是 GPS 连续运行站网和综合服务系统的范例。它无偿向全球用户提供 GPS 各种信息, 如 GPS 精密星历、快速星历、预报星历、IGS 站坐标及其运动速率、IGS 站所接收的 GPS 信号的相位和伪距数据、地球自转速率等。GPS 作为先进的测量手段和新的生产力, 已经融入了国民经济建设、国防建设和社会发展的各个应用领域。

但是由于 GPS 芯片如果收星能力不足, 就会完全失去定位的能力, 而如果收讯能力过强的话也有副作用。因为卫星发射的 GPS 信号本质上就是电磁波, 在地形复杂的环境比如高楼林立的城市中容易发生发射而产生杂波, 这些信号会对 GPS 定位产生不利的干扰, 从而产生漂移现象^[1]。因此如何在信号的强弱之间做出平衡就成了摆在技术人员面前的难题, 某些 GPS 产品由于把握不好这种平衡, 也容易出现漂移现象。

自 2000 年以来, 基于 GPS 技术的相关软件得到蓬勃的发展。行人、车辆等移动目标配备一个 GPS 信号接收装置, 比如

作者简介: 黄冠利 (1975-), 讲师, 主要研究方向: 网络信息技术、软件设计与应用等; 王辉, 副教授, 主要研究方向: 自动控制技术、网络信息技术等; 徐华平, 副教授, 博士后, 主要研究方向: 信号与信息处理、图像处理等。

收稿日期: 2008-05-15 **修回日期:** 2008-08-04

GPS 天线或者 GPS 车台,这些就收装置接收到 GPS 信息之后,可以通过无线方式,比如蓝牙技术或者 GPRS 技术,将 GPS 数据传递到远方的数据处理计算机中心,数据处理中心的计算机软件通过对 GPS 数据在电子地图上的匹配、标示就可以让管理人员及时地了解到车辆、人员所处的位置,从而发出指令,调度资源,完成对客户比较快的服务响应,实现对车辆、人员、公司资源的监控和调度功能。这样的软件存在着十分广阔的市场前景,比如在物流行业,远程运输行业等等。目前,基于 GPS 数据,进行增值服务软件开发的机构很多,创新了大量的新型软件,在 2007 年举办的地理信息学会的年会上可以看出,从事于这方面软件开发的机构越来越多,投入也越来越大,创造出巨大的经济效益和社会效益。

必须清醒地看到,目前用于监控和调度的 GPS 软件存在着一些先天性的缺陷,这种先天性的缺陷就来自于 GPS 接收设备和芯片接收到的定位数据的质量参差不齐,比如前面讲到的 GPS 漂移问题,这种现象会导致监控软件死机,被监控目标消失或者移动目标的轨迹紊乱等等,明显地影响到软件产品的质量和使用效果,大大降低了基于 GPS 的监控、调度、导航软件的市场价值和可信度。因此目前市场上可以见到的 GPS 软件产品其质量也是高低不平的。

提高 GPS 定位数据的准确性,研究解决 GPS 漂移问题的算法就成了行业内的大势所趋。明显地,可以从两个方面做一些类似的工作,一方面是从硬件的设计、芯片的质量、信号的接收方式、处理算法等方面做工作,这是硬件厂商应该考虑的工作。对于基于 GPS 数据做应用开发的机构来说,重要的要做好初期的硬件选型,争取将 GPS 接收器带来的数据失真问题降到最低;另外一方面,就是要研究对 GPS 数据进入应用软件流程前的二次处理,把脏数据从入口处就筛选出去,或者加以校正再进入应用软件的功能流程。将结合 GPS 软件研发的一般流程来实现这个思路。

2 GPS 软件产品的数据流动过程

市面上流通的 GPS 软件产品,比如公司业务人员管理系统,以及车辆监控系统,还有软硬件结合的 GPS 导航设备,他们的工作原理都是一致的,也就是把 GPS 接收机所接收来的 GPS 数据采用 GIS 技术显示在矢量化的地图上,有了 GPS 数据基础,就可以在应用层面上开发出多种多样的软件,用地图、报表、动画等形式把数据的价值表现出来^[2]。在这个过程中 GPS 的数据流动过程如图 1 所示。从流程图上可以看出,GPS 设备接收到的数据,通过无线的方式转送到 GPS 数据服务器,移动目标监控软件之所以发生漂移,使得被监控对象的轨迹发生不规则跳动甚至消失,是因为 GPS 接收机接收到 GPS 漂移数据(这种漂移数据可能来自于接收机本身,也可能来自于 GPS 卫星),而这种脏数据没有经过任何预处理,没有经过甄别和筛选,不被校正就被软件开发人员直接使用而产生的,严重影响了软件质量^[3]。为了达到比较好的监控效果,比较容易想到的办法是,在 GPS 脏数据被存储在 GPS 数据转发服务器上之前,采用一定的算法将这些脏数据筛选或者进行校正。

3 校正 GPS 脏数据的理论依据

3.1 目前行业内类似校正算法的现状

目前市场上比较流行的 GPS 导航仪,在 GPS 接收机一端

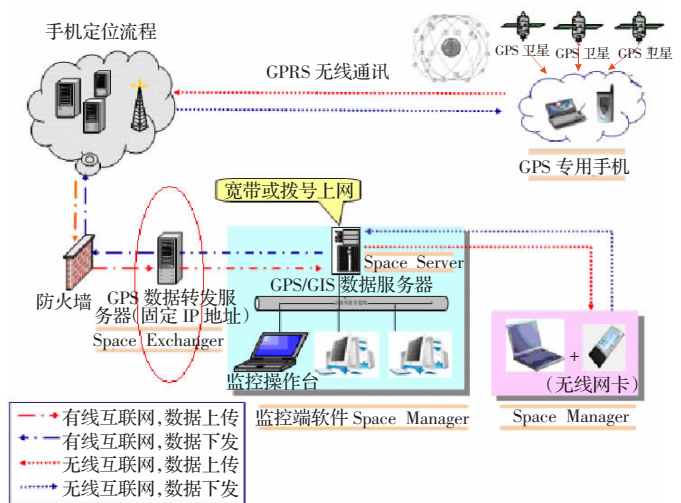


图 1 GPS 数据流动过程说明图

就加强了对 GPS 信号的处理功能,因此数据的可靠性大大提高。而一些著名的 GIS 软件提供商,比如超图、灵图、ARCGIS 等,在他们提供的地图控件里面,也加强了对 GPS 定位数据的检查、校正以及容错算法,提供了锁路功能,保证移动目标是沿着正确的道路在行进,因此移动目标在这些地图控件上表现比较好。但是,这些算法都是需要付费才能够得到的,而且这些开发控件对 GPS 接收设备的硬件要求也是比较高的,因为他们的算法是固化在开发控件内部,控件购买方不能够根据自己的数据特点调整这些算法的一些参数,因此对于数据的容错性有一定的限度,超过了这个限度,前面所说的故障和缺陷仍然会出现^[4]。对于大多数软件开发公司而言,能不能有简单可行的算法来提高自己的产品的质量呢?这就是本文力图解决的问题。

3.2 校正算法需要解决的问题

对于软件开发商来说,为了提高 GPS 数据的质量,除了做好硬件选型之外,在算法研究上需要解决这么几个问题:(1)确定对 GPS 数据施加算法的环节和时机;(2)确定判定 GPS 脏数据的标准;(3)确定校正 GPS 脏数据的方法。

3.3 提出的两种可行的校正算法

试图提出两种理论依据来校正 GPS 漂移数据,从而形成两种不同的算法。

(1) 欧氏几何空间里的距离原则

众所周知,GPS 接收机可以从 GPS 卫星接收到 3 种数据:移动目标速率 v 、移动目标位置 p 以及时间数据 t 。在 ECEF 坐标系中,能够以欧氏空间里面的距离作为一个衡量标准,提出一种简单可行的算法:

①假设移动目标再地球上任意两点的经度分别为 A_1, A_2 (E 正, W 负),纬度分别为 B_1, B_2 (N 正, S 负)(E、W、N、S 分别代表东南西北 4 个方位)。

②令 $A_0 = \frac{(A_1 - A_2)}{2}$; $B_0 = \frac{(B_1 - B_2)}{2}$, 则根据欧氏几何原理,可以计算出移动目标两点间最小球面距离 $d = 2R \arcsin f$, R 为地球半径,其中 $f = \sqrt{\sin^2 B_0 + \cos B_1 \times \cos B_2 \sin^2 A_0}$ 。

③假设 GPS 接收机每隔时间 t 接收一次定位数据(在移动目标监控软件中,这个时间间隔是可以设置的,一般不超过 10 秒),而接收到的移动目标速率记为 v ,在该时间间隔内移动目标移动的距离则为 $D = vt$ 。

④第一条判断法则:根据前面计算球面两点间的距离公式,在时间间隔 t 内两点间的距离为 d ,考虑到移动目标的实际情况,一个时间间隔内移动目标的距离增量: d ,应该限制在一定范围内,如表 1 所示。超过了这个范围,就认定 GPS 接收到的数据为一个脏数据,将其修正为当前的位置数据。

表 1 一个时间间隔内移动目标的距离增量范围参考值表

移动方式	$t=2\text{ s}$	$t=5\text{ s}$	$t=10\text{ s}$
步行	0.5~1 m	2.5~5 m	5~10 m
自行车	5~10 m	25~50 m	50~100 m
市内汽车	10~20 m	50~100 m	100~200 m
...

⑤第二条判断法则: D 和 d 的比值,是应该在 1 附近震荡,如果比值偏离 1 超过了一定限度,比如 ± 0.5 ,有理由确定这个 GPS 数据使一个脏数据,应该予以校正。

⑥对奇异点或者脏数据的处理:使用前面两种奇异点判定法则,对于被断定是奇异点的 GPS 定位数据,可以使用 3 种处理方法进行平滑:直接删除该点 GPS 定位数据;直接沿用前一个点的 GPS 定位数据;采用埃尔米特或者样条插值算法,利用前面几个有效 GPS 定位数据外推得到当前这个点的理论 GPS 定位数据。

(2) 时间序列方法校正

时间序列法是一种定量预测方法,亦称简单外延方法。在统计学中作为一种常用的数据统计分析手段被广泛应用。在第二次世界大战前应用于经济预测。二次大战中和战后,在军事科学、空间科学、气象预报和工业自动化等部门的应用更加广泛^[3]。也可以把时间序列的方法,应用在 GPS 数据处理上,判断并校正奇异点数据。

根据时间序列理论提出的校正算法是这样的:

①获取移动目标的经度观测点样本(一般要求大于 50 个) $x=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) n \geq 50$ 。

②以时间为横坐标,经度为纵坐标,形成一个目标移动的经度变化的时间序列。

③令 k 从 1~ $n-1$ 变化,增量为 1,计算该样本的 k 阶自相关系数,形成自相关系数序列 $r=(r_1, r_2, r_3, \dots, r_{n-1})$ 。

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \text{其中 } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

④检查自相关系数分布图,证明原序列 x 是否稳定的;或者采用 Dickey-Fuller 白噪声假设检验方法,检验自相关系数序列是否是白噪声,从而证明原序列是稳定的^[4]。

⑤如果证明经度序列 x 是稳定的,则不存在奇异点, GPS 定位数据没有漂移。

⑥如果 x 不稳定,则进入步骤⑦。

⑦观察发现 x 随着时间有上升或者下降的趋势,则对 x 施加对数变换,形成新的时间序列 $y = \ln x$:

$$y_i = \ln(x_i)$$

观察发现 x 随着时间有震荡的趋势,则对 x 施加时滞为 s 的差分变换,形成新的时间序列 $y = \Delta_s x$:

$$y_i = \Delta_s x_i = (x_i - x_{i-s})$$

观察发现 x 同时具备前面两种特征,则对 x 同时施加对数变换和差分变换,形成新的时间序列 $y = \Delta_s \ln(x)$; s 是经验值。

⑧对时间序列 g 重复步骤②~步骤④。

⑨经过步骤①~步骤⑧之后,如果序列一直没有通过白噪声检验,则说明原序列 x 是不稳定的,存在着奇异点, GPS 数据发生了漂移。

⑩根据自相关系数给出的线索,局部检验序列 x 的样本点,找出奇异点,进行校正。

⑪对奇异点的校正可以采用如下 3 种方法:直接删除该点 GPS 定位数据;直接沿用前一个点的定位数据;采用埃尔米特或者样条插值算法,利用前面几个有效 GPS 定位数据外推得到当前这个点的经度数据。并替换掉当前经度数据。

⑫对纬度数据 Y 施加同样的算法。

4 关于时间序列方法的实例报告

因为欧氏几何空间里的距离原则使用起来主观性比较大,比较适用于软件工程实践,而时间序列方法有完备的理论基础,因此将用实例来说明本方法的科学性和严密性。采集了 144 个点的移动目标的位置数据,先将其经度数据做成时间序列,如图 2 所示。

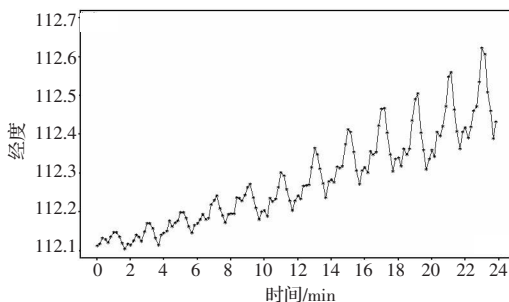


图 2 移动目标时间序列图

观察这个时间序列,经度呈现出上升和周期性出现峰值的振荡特点,因为 \ln 算子在信号处理中有抑制放大的作用,我们先对经度序列施加 \ln 算子来抑制其峰值的增长性,如图 3 所示。

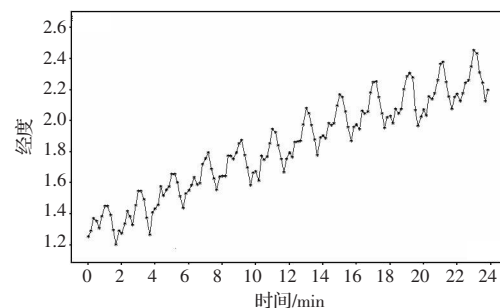


图 3 对经度序列施加 \ln 算子来抑制峰值图

从图 3 中明显地看到周期性增长的峰值被平抑了,但是该序列一个明显的特征是还存在横向增长的趋势,考虑到每隔 10 秒中采集到 1 个点,数据的周期是 12,因此施加 $\Delta_{12} \ln$ (这里要去掉 \ln 算子)算在来平抑横向的增长趋势,形成新的序列如图 4。

与原序列相比,图 4 的时间序列在横向不存在增长性的趋势,从周期性方面观察,该序列不存在波峰型的放大趋势,因此,可以在这里验证他的稳定性。

该序列的自相关系数如图 5,可以看出,自第一个观察点

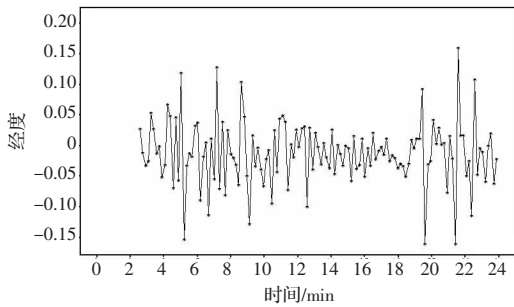


图4 144个点的移动目标时间序列实例图

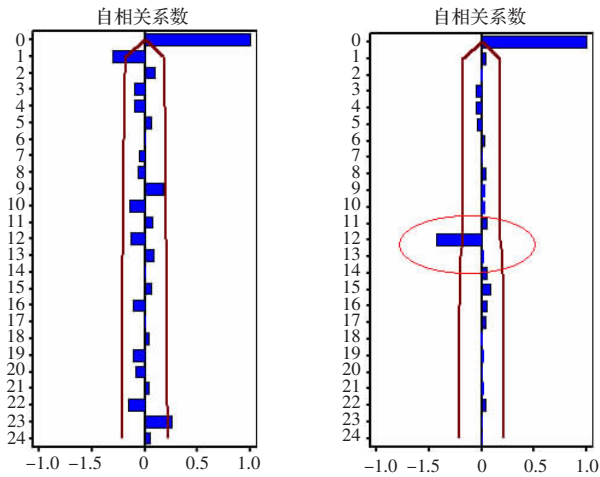


图5 144个点的移动目标时间序列的自相关系数图

图7 新序列的自相关系数图

以后,所有的自相关系数都自动收敛在置信区间内,标明该移动目标在经度方向上数据正常,是一个平稳过程,也就是目标移动过程中在精度方向上没有出现明显漂移。

针对该序列的 Dickey-Fuller 检验结果如表 2 所示。

表2 144个点移动目标时间序列的 Dickey-Fuller 检验结果数据表

时滞	Chi-square	DF	Pr>chisq	自相关系数					
6	5.56	4	0.234 9	0.022	0.024	-0.125	-0.129	0.057	0.065
12	8.49	10	0.581 6	-0.065	-0.042	0.102	-0.060	0.023	0.007
18	13.23	16	0.656 0	0.022	0.039	0.045	-0.162	0.035	0.001
24	24.99	22	0.297 8	-0.106	-0.104	-0.037	-0.027	0.219	0.040

第 4 列的检验指标没有拒绝该序列的自相关系数是白噪声的假设,因此,序列本身是稳定的,标明该移动目标在经度方向上数据正常,是一个平稳过程,也就是目标移动过程中在精度方向上没有出现明显漂移。

反之,如果图 2 中出现了严重的漂移,则时间序列将会出现下面这种奇异点现象,如图 6 所示。

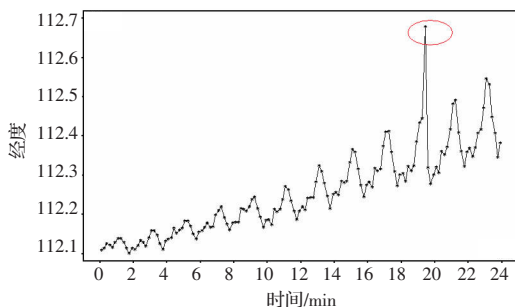


图6 严重漂移时间序列奇异点现象图

对图 6 的数据进行差分 $\Delta_{12} \ln$ 运算后,来对新序列作稳定检测。

新序列的自相关系数如图 7,在延迟为 12 的地方自相关系数异常变大,表明该过程是一个非平稳过程,也就是目标移动过程中出现了明显漂移。根据自相关系数所提供的线索,我们找到这个奇异点,把这个奇异点的位置数据用它前面那一个点的位置数据代替,使得整个序列归于平稳。

针对新序列的 Dickey-Fuller 检验结果如表 3 所示。

表3 新序列的 Dickey-Fuller 检验结果数据表

时滞	Chi-square	DF	Pr>chisq	自相关系数					
6	28.25	6	<0.0001	-0.446	0.001	-0.052	0.002	-0.048	0.079
12	70.62	12	<0.0001	-0.051	0.033	0.013	-0.008	0.238	-0.479

第 4 列的检验指标拒绝该序列的自相关系数是白噪声的假设,因此,序列本身是不稳定的,也就是目标移动过程中出现了明显漂移^[6]。根据自相关系数所提供的线索,找到这个奇异点,把这个奇异点的位置数据用它前面那一个点的位置数据代替,使得整个序列归于平稳。

5 总结和展望

区别于在 GPS 数据接收端用硬件进行数据校验和调整,提出的基于时间序列的算法是在 GPS 数据的存储端进行数据的校验和调整,目的是为了保证相关的 GPS 软件产品的质量和用户感受,不受数据类型和来源的限制,有比较广泛的应用范围,而且算法中的关键参数值都是可以人为地控制、调整,以适应不同的移动目标,不同特点的数据集合等等。对以哪些不具备购买专业 GPS、GIS 开发控件的软件公司来说,能够节省他们的开发成本,获得比较好的软件表现效果,增加系统的容错性,使得软件质量在整体上得到提高。

欧氏空间距离原则使用起来比较方便,而且很直观,用计算机语言易于实现,相比而言,时间序列方法有着完备的理论体系,而且可供调整的方法比较多,可以用来处理多种类型的数据。因为使用专门的计算机进行数据处理,因此可以比较大量的数据运算来甄别和校验数据,降低了对 GPS 接收机性能的要求,弥补了嵌入式程序计算能力不强的弱点。即使如此,算法也不能从 GPS 的数据源头上做出有益的工作,应该是在 GPS 接收机具备较好的性能下,对数据进行二次甄别和校正比较好的方法。

作为算法的理论基础之一的时间序列,其方法本身也在不断地探讨和完善过程之中,因此,随着该理论基础的丰富,算法也会日益完善。

参考文献:

- [1] 金国雄.GPS 卫星定位的应用与数据处理[M].上海:同济大学出版社,2003:207-215.
- [2] 龚国辉,李思昆.实时 GPS 卫星信号采集系统的设计与实现[J].计算机应用研究,2005,22(1):147-148.
- [3] 李保柱,张其善,杨东凯.一种基于卫星信道 GPS 气象监测系统设计与实现[J].计算机测量与控制,2006,14(11):157-158.
- [4] Percival D B,Walden A T.Wavelet methods for time series analysis[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [5] Enders W.Applied econometric time series[M].New York:John Wiley & Sons Inc,2004.
- [6] 潘红宇.时间序列分析[M].北京:对外经济贸易大学出版社,2006.