

4种DGPS模块动态定位精度测试与分析

张智刚, 罗锡文, 胡 炼, 吴晓鹏

(南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要:采用RTK-DGPS为参照,对GARMIN GPS15L、Ublox LEA-4S、Gstar GS-87和Gstar GS-89m-J共4种DGPS模块在单机模式、地面伪距差分模式和卫星差分模式下的动态定位精度进行了测试和分析.结果表明:(1)对于GARMIN GPS15L和Ublox LEA-4S,单机定位精度为米级,使用地面伪距差分定位可分别提高动态定位精度20%和87%;(2)总体上看,DGPS模块的地面伪距差分定位精度优于卫星差分定位,卫星差分定位精度优于单机定位;(3)在视野狭窄地段,无论单机定位、伪距差分定位还是卫星差分定位,动态定位精度都受到一定影响,和视野开阔地段相比,精度明显下降.

关键词:GPS; 伪距; 动态定位; 测试

中图分类号:S219.1;TP242

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2010)01-0102-06

Study on Dynamic Positioning Precision of 4 Kinds DGPS Modules

ZHANG Zhi-gang, LUO Xi-wen, HU Lian, WU Xiao-peng

(Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education,
College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: RTK-DGPS was used as the reference to evaluate the dynamic positioning precision of GARMIN GPS15L, Ublox LEA-4S, Gstar GS-87 and Gstar GS-89m-J GPS modules. The test conclusion included: (1) The absolute positioning precisions of GARMIN GPS15L and Ublox LEA-4S were meter level, using pseudo range differential correction, the positioning precision could be improved by 20% and 87%, respectively; (2) The ground pseudo range differential positioning precision was better than MSAS satellite differential positioning, MSAS satellite differential positioning precision was better than single module positioning; (3) The dynamic positioning precision would be effected remarkably by environment condition.

Key words: GPS; pseudo range; dynamic positioning; test

GPS定位技术因其具有精度高、速度快、无需通讯、操作简便、全球布网、全天候作业、三维坐标定位、精确授时测速等特点,在车辆导航、大地测量、精细农业、资源调查等技术领域获得广泛应用.随着差分GPS定位技术的不断发展,GPS定位精度不断提高,RTK-DGPS的定位精度甚至可达厘米级.各GPS制造商顺应这种发展趋势,推出了多种廉价差分

GPS芯片或者模块,使各种GPS技术集成应用更加便利.不同的GPS技术应用领域或系统,对GPS定位精度有不同的要求.因此,GPS定位精度成为各类相关应用行业关注的焦点,随之而来的问题是如何有效评估GPS接收机、模块甚至芯片的定位精度.

GPS定位精度可分为静态定位精度和动态定位精度2种,相应的测试方法有所不同.静态定位精度

收稿日期:2009-08-06

作者简介:张智刚(1977—),男,讲师,博士;通讯作者:罗锡文(1945—),男,教授,硕士,E-mail:xwluo@scau.edu.cn

基金项目:863计划重大项目“农田作业机械智能导航控制技术与产品研发”(2006AA10A304);863计划专题项目“果树果摘机器人关键技术研究”(2006AA10Z225);广东省科技计划项目“拖拉机辅助导航系统”(2007A020300010-5);广东省自然科学基金“基于神经网络的轮式农业机械导航控制算法研究”(07301499)

的测试与评估方法较为简单,如常用的圆概率误差(CEP)方法、距离均方根误差(DRMS)方法,国内外相关文献[1-2]均有提及,许多GPS制造商采用静态定位精度指标表明其GPS接收机或模块的精度。但是,大多数GPS应用是在动态条件下进行的,静态定位精度指标是否适用,动态定位精度能否满足GPS用户的应用需求,是GPS模块选型面临的一个问题。国外学者对GPS动态定位精度的测试方法进行过较多研究,共同特点是以高精度RTK-DGPS定位作为参考,衡量其他GPS接收机或模块的定位精度。Han等^[3]提出了pass和pass to pass 2类精度指标,以评价GPS动态定位精度。Taylor等^[4]对GPS动态定位的横向定位误差进行了傅立叶分析,认为其包含明显的周期性成分。由于动态定位精度的测试与评估方法较为复杂,国内对这方面的研究报道还比较少。

本文以东方红X-804拖拉机为测试平台,采用RTK-DGPS作为参照,对市场上常见的支持伪距差分定位的GARMIN GPS15L模块、Ublox LEA-4S模块和支持卫星差分定位Gstar GS-87模块、Gstar GS-89m-J模块的动态定位精度进行了测试,分析了这4种DGPS定位模块的定位性能,为相关应用行业的GPS模块选型提供参考。

1 DGPS 模块简介

1.1 美国 GARMIN GPS15L 模块

GARMIN GPS15L为12通道GPS接收模块,包括RF/IF硬件和数字基带部分,均由GARMIN公司设计和生产。GARMIN GPS15L支持的差分数据源包括:RTCM SC-104(2.2版本)和WAAS。产品标称的单机定位精度小于15 m(95%),差分定位精度小于5 m(95%)。冷启动时间45 s,温启动时间15 s,热启动时间2 s。GPS信号跟踪灵敏度为-165 dBW。模块可通过串口输出NMEA0183 3.0版本的GPALM, GPGGA, GPGLL, GPGSA, GPGSV, GPRMC, GPVTG等信息,也可设置输出包括GPS载波相位数据的二进制数据,输出频率最高为1 Hz。该模块还提供了秒脉冲PPS输出,精度为 $\pm 1 \mu\text{s}$ 。GARMIN GPS15L提供了专用的配置指令完成初始位置、时间、秒脉冲状态、差分模式、NMEA输出频率等参数设置,方便系统集成应用。

1.2 瑞士 Ublox LEA-4S 模块

瑞士Ublox LEA-4S为16通道GPS接收模块,支持的差分数据源包括:RTCM SC-104(2.0版本)、WAAS、EGNOS和MSAS。产品标称的定位精度为2.5

m(CEP),不区分静态和动态应用条件。冷启动时间34 s,温启动时间33 s,热启动时间3.5 s。GPS信号捕获灵敏度-144 dBW;跟踪灵敏度-158 dBW。可通过串口输出NMEA0183 3.01版本的GPGGA, GPGLL, GPGSA, GPGSV, GPRMC和GPVTG等信息,输出频率可达4 Hz。该模块也具有秒脉冲PPS输出功能。

1.3 台湾 Gstar GS-87 模块

台湾Gstar GS-87是基于SiRFstar III核心芯片组的20通道GPS接收模块,支持的差分数据源包括:RTCM SC-104(2.1版本)、WAAS、EGNOS和MSAS。冷启动时间42 s,温启动时间38 s,热启动时间1 s。单机定位精度10 m(2DRMS);WAAS差分GPS定位精度7 m(2DRMS);RTCM差分GPS定位精度1~5 m。GPS信号跟踪灵敏度-159 dBm。可通过串口输出NMEA0183 2.2版本的GPGGA、GPGSA、GPGSV、GPRMC、GPVTG、GPGLL和GPZDA等信息,输出频率为1 Hz。

1.4 台湾 Gstar GS-89m-J 模块

台湾Gstar GS-89m-J是基于MTK MT3318F核心芯片组的32通道GPS接收模块,支持的差分数据源包括:RTCM SC-104(2.1版本)、WAAS、EGNOS和MSAS。冷启动时间47 s,温启动时间37 s,热启动时间1 s。单机定位精度10 m(3DRMS);WAAS差分GPS定位精度7 m(2DRMS);RTCM差分GPS定位精度1~5 m。GPS信号跟踪灵敏度-157 dBm,捕获灵敏度-150 dBm。可通过串口输出NMEA0183 2.2版本的GPGGA、GPGSA、GPGSV、GPRMC和GPVTG等信息,输出频率为1 Hz。

2 DGPS 模块的动态定位精度测试方法

2.1 测试准备与数据采集

RTK-DGPS设备采用Trimble公司的5700型GPS接收机系统,包括GPS Zephyr™天线、基准站接收机、流动站接收机和PDL数传电台。该系统支持RTK-DGPS定位,水平定位精度2 cm + 1 ppm,垂直定位精度3 cm + 2 ppm,输出频率可达20 Hz,动态延迟小于20 ms。RTK-DGPS设备的流动站接收机通过CDMA无线上网卡接入广东省连续运行虚拟参考站系统(DGCORS),获取VRS-RTK差分数据,实现RTK动态定位,为DGPS模块测试提供厘米级精度的参考数据。RTK-DGPS设备的基准站接收机设置输出RTCM 2.0版本的伪距差分定位数据,通过技卓科技JZ877数传模块(串行接口和空中接口的数据传

输速率均为9 600 bps) 将该数据传送给 GARMIN GPS15L 和 Ublox LEA-4S, 实现伪距差分定位. 基准站的基准点坐标由流动站接收机采用 VRS-RTK 定位方式精密测定. Gstar GS-87 和 Gstar GS-89m-J 直接使用卫星差分方式获取差分数据实现动态定位. 以东方红 X-804 拖拉机为运动载体, 将 Trimble 5700 型 GPS 流动站接收机和 4 种 DGPS 模块的天线安置在拖拉机顶篷, 4 种 DGPS 模块均采用 GZXT-ACZ 型介质天线, 安置的相对位置关系见图 1 所示. 测试地点选择在华南农业大学六一区的某一路段(图 2), 水泥路面, 路段长度约为 600 m. 该路段西侧视野开阔, 东侧高楼比邻、视野相对狭窄. 地面自主差分基准站设置在路段西侧, 距离路段中心线约 10 m.

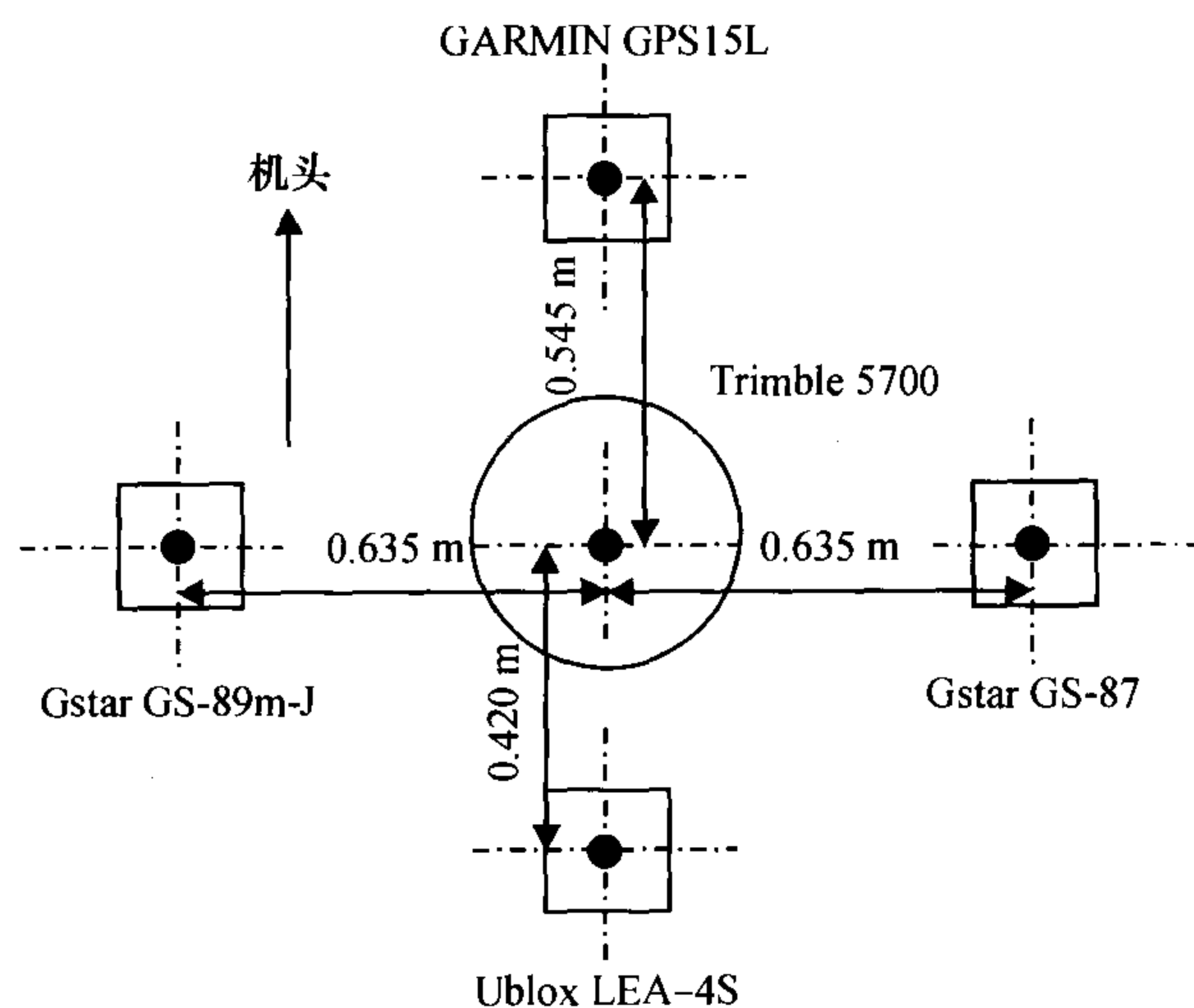


图1 GPS天线的相对位置

Fig. 1 The relative position of GPS antennas



图2 动态测试环境

Fig. 2 The dynamic testing condition

当拖拉机行进在预定路段时, 采用 Windows 操作系统的超级终端软件对各 DGPS 模块和 Trimble 5700 接收机输出的 NMEA-0183 原始数据进行实时采集和保存. 考虑到笔记本的串行接口有限, 分 6 次

完成数据采集, 分别对应 GARMIN GPS15L 模块的单机定位、GARMIN GPS15L 模块的伪距差分定位、Ublox LEA-4S 模块的单机定位、Ublox LEA-4S 模块的伪距差分定位、Gstar GS-87 模块的卫星差分定位和 Gstar GS-89m-J 模块的卫星差分定位. 测试过程中, 拖拉机的行进速度为 7.2 km/h.

2.2 测试数据处理方法

2.2.1 高斯-克吕格投影变换 为后续数据处理方便, 将原始 WGS-84 大地坐标系下的 GPS 定位数据通过高斯-克吕格投影变换转换为平面坐标. 转换时, 采用如下公式^[5-7]:

$$x = X + \frac{l^2}{2} N \sin B \cos B + \frac{l^4}{24} N \sin B \cos^3 B (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{l^6}{720} N \sin B \cos^5 B (61 - 58t^2 + t^4), \quad (1)$$

$$y = l N \cos B + \frac{l^3}{6} N \cos^3 B (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{l^5}{120} N \cos^5 B (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) + 500\,000, \quad (2)$$

式中, $l = L - L_0$, L 为经度, B 为纬度, L_0 为投影带中央子午线经度. 卯酉圈曲率半径 $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$, 椭球第一偏心率 $e = 2\delta - \delta^2$, 辅助变量 $t = \tan B$, 辅助变量 $\eta = e' \cos B$, 椭球第二偏心率 $e' = \sqrt{a^2/b^2 - 1}$, a 、 b 分别为参考椭球的长、短半径, 扁率 $\delta = (a - b)/a$, X 为赤道至纬度为 B 的平行圈的子午线弧长, 其计算公式为:

$$X = c \int_0^B (1 + e'^2 \cos^2 B^{-3/2}) dB,$$

式中, c 为极曲率半径.

本文使用投影坐标系的主要参数包括: (1) 投影方式: Gauss-Kruger; (2) 中央经线: $114.000\,000^\circ$ (3 度带); (3) 水平偏移量: 500 km; (4) 地理坐标系: GCS_WGS_1984; (5) 大地参照系: D_WGS_1984; (6) 参考椭球体: WGS_1984; (7) 椭球长轴: 6 378 137.000 000; (8) 椭球扁率: 0.003 352 810 7.

2.2.2 DGPS 模块定位数据换算 4 种 DGPS 模块的天线和 RTK-GPS 接收机的天线之间存在固定的相对距离误差. 利用图 1 所示的天线位置关系, 可将 4 种 DGPS 模块的原始定位结果换算到 RTK-DGPS 接收机天线的位置, 以消除相对距离误差对定位精度测试的影响. 换算过程需要拖拉机的实时航向角度数据, 可利用 RTK-DGPS 的定位点进行航向角度解算.

设 Trimble 5700 当前定位点坐标为 (x_k, y_k) , 则拖拉机当前航向角度 θ_k 可用下式计算:

$$\theta_k = \operatorname{atan}[(y_k - y_{k-N}) / (x_k - x_{k-N})] \times 180 / \pi,$$

(3)

式中, N 为常数. 考虑到 Trimble 5700 接收机的输出频率为 20 Hz, 这里 N 取 20.

具体的换算公式如下:

$$x_{ck} = x_{rk} - L \cos(\theta_k + \alpha),$$

(4)

$$y_{ck} = y_{rk} - L \sin(\theta_k + \alpha).$$

(5)

其中, (x_{rk}, y_{rk}) 为 DGPS 模块换算前的 k 时刻定位坐标, (x_{ck}, y_{ck}) 为 DGPS 模块换算后的 k 时刻定位坐标, L 为相应 DGPS 模块天线和 RTK-DGPS 接收机天线之间的距离 (图 1), GARMIN GPS15L、Ublox LEA-4S、Gstar GS-87 和 Gstar GS-89m-J 对应的 α 分别为 0、180、270 和 90.

2.2.3 动态定位误差解算与统计 由于各 GPS 模块和 Trimble 5700 接收机输出频率不同, 以 NMEA0183 GPGGA 数据串的 UTC 时间作为数据同步的依据, 建

立 DGPS 模块和 RTK-DGPS 接收机的测量定位点之间的一一对应关系. 设待评估 DGPS 模块在 i 时刻的测量定位点为 $P_i(x_i, y_i)$, 参照用 RTK-DGPS 接收机的测量定位点为 $P_{i0}(x_{i0}, y_{i0})$, 则 i 时刻 DGPS 模块定位点的测量误差 E_i 为:

$$E_i = \sqrt{(x_i - x_{i0})^2 + (y_i - y_{i0})^2}.$$

(6)

以测量误差 E_i 为统计变量, 对其最大值、最小值、平均值和标准差等指标进行统计, 可为 DGPS 模块的性能评估提供参考.

原始 DGPS 测试数据采用自制的 Matlab 程序进行处理、解算、统计和绘图.

3 测试结果与分析

6 次数据采样的试验结果见图 3, 解算得到的定位误差曲线见图 4.

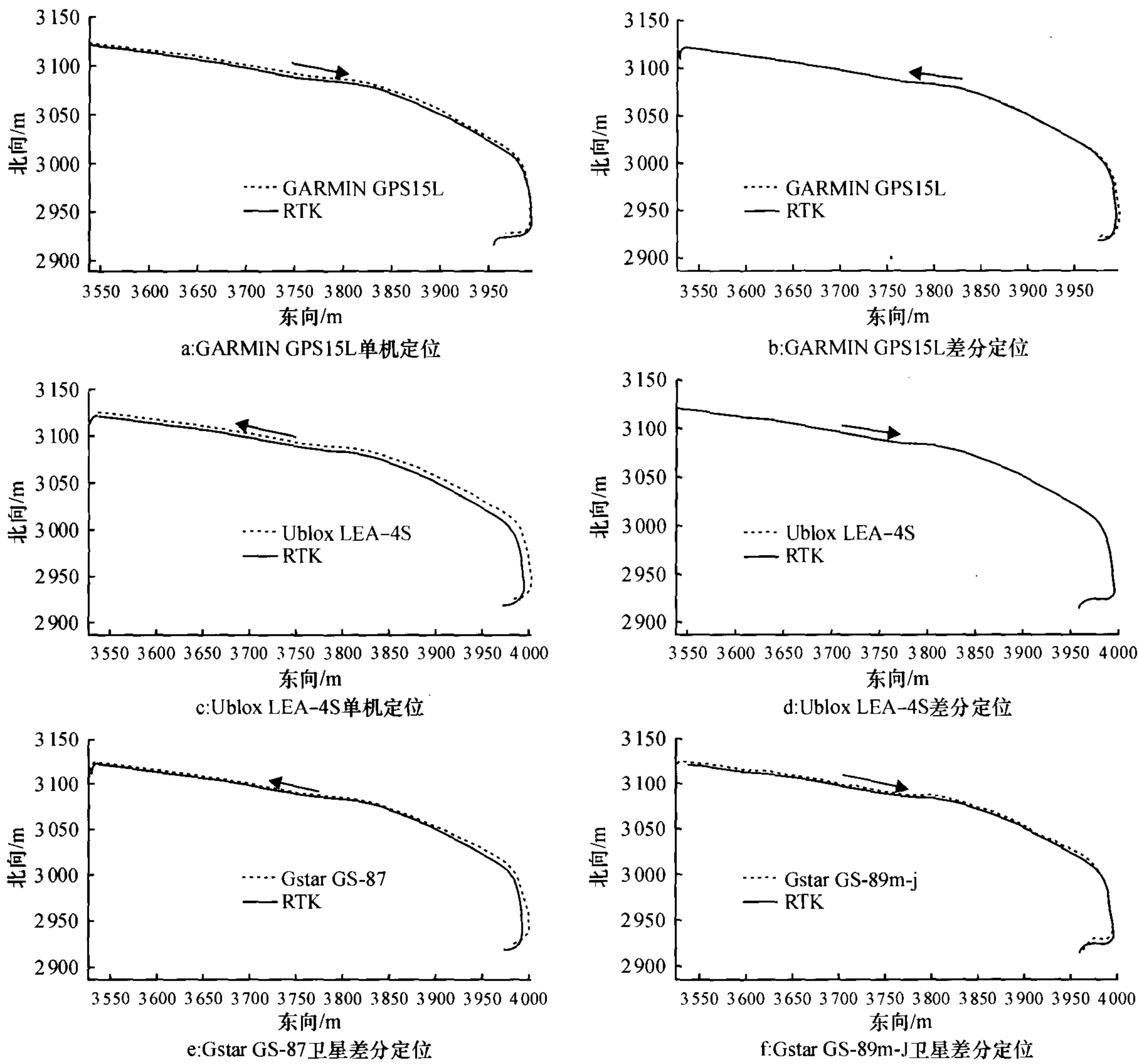


图 3 GPS 模块定位数据与 RTK 对比

Fig. 3 Comparing of positioning data from GPS modules and RTK

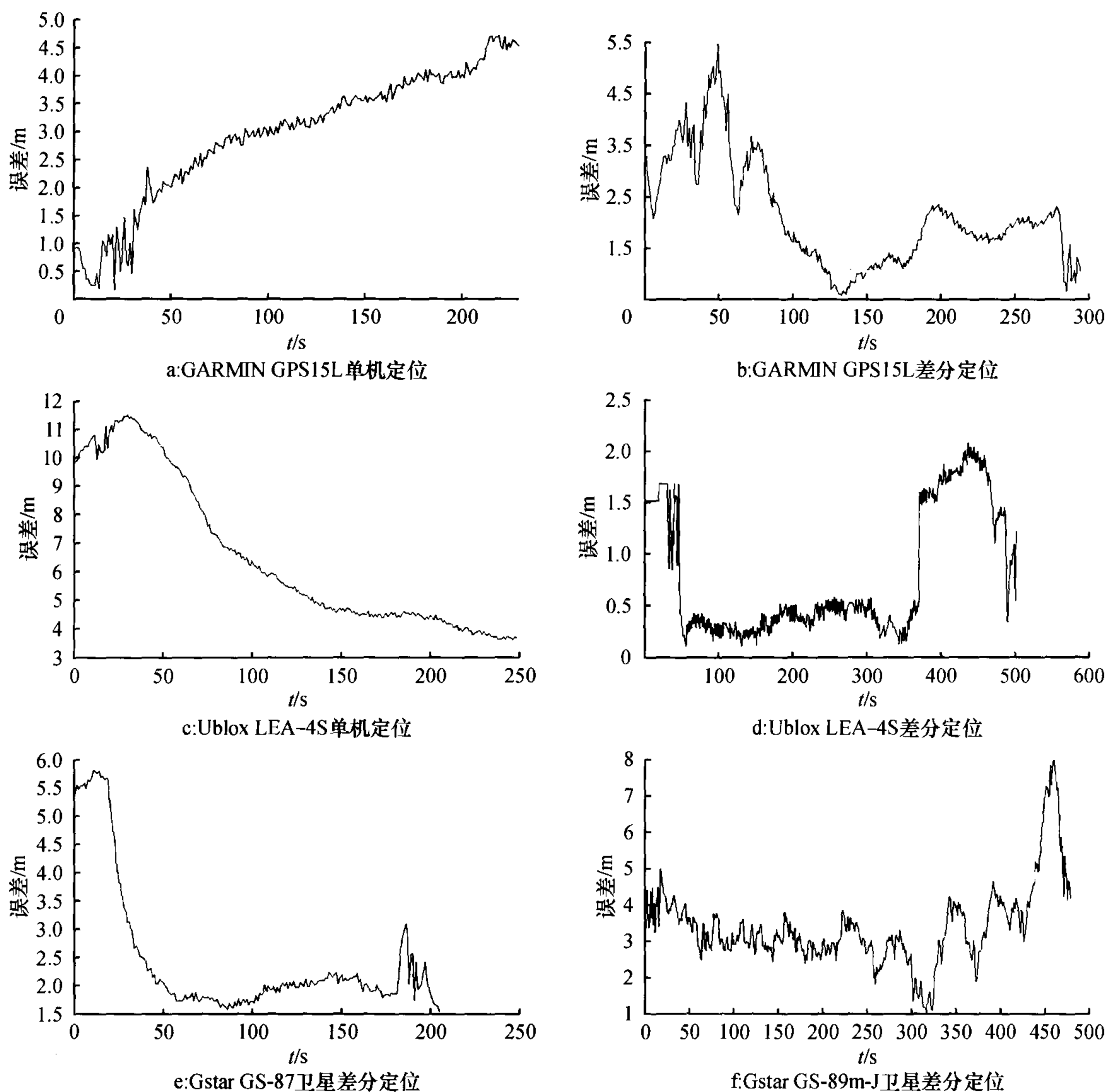


图4 GPS模块定位误差

Fig. 4 GPS modules positioning error

从图 3a、3c 中看出, GARMIN GPS15L 和 Ublox LEA-4S 单机定位时, 和 RTK 定位相比, 均出现了明显且较为恒定的横向误差; 从总体趋势看, GARMIN GPS15L 和 Ublox LEA-4S 单机定位时都可以较好地复现拖拉机运动轨迹. 从图 3b、3d 中看出, GARMIN GPS15L 和 Ublox LEA-4S 采用伪距差分定位时, 和 RTK 定位相比, 定位轨迹基本吻合, 表明伪距差分定位方式可较好地消除单机动态定位时出现的横向误差, 定位精度得到了提高. 从图 4a、4c 看出, GARMIN GPS15L 单机定位时, 定位误差在整个测试过程中呈现缓慢增大趋势, 最大达到 5 m; Ublox LEA-4S 单机定位时, 定位误差在整个测试过程中呈现缓慢减小趋势, 最大为 11.5 m. 从图 4b、4d 中看出, GARMIN

GPS15L 差分定位时, 在整个测试过程中, 最大误差达到 5.5 m, 稳定定位时, 误差在 2 m 左右波动, 定位精度较单机时高; Ublox LEA-4S 差分定位时, 在整个测试过程中, 最大定位误差为 2 m, 稳定定位时, 误差保持在 0.5 m 以内. 无论单机还是差分定位, 最大定位误差均出现在测试路段东侧, 与该路段的视野开阔程度有关, 路段东侧有高大楼房, 而西侧则完全视野开阔. 这表明, GPS 信号遮挡对单机和差分定位的性能均会产生一定影响. 从图 3e ~ f 中看出, Gstar GS-87 和 Gstar GS-89m-J 卫星差分定位时, 和 RTK 定位相比, 仍存在明显的横向误差, 且这种误差呈现波动性. 从图 4e 中看出, Gstar GS-87 在卫星差分定位时, 最大误差为 5.8 m, 稳定定位时, 定位误差可保

持在 2 m 左右. 从图 4f 中看出, Gstar GS-89m-J 在卫星差分定位时, 最大误差为 8 m, 稳定定位时, 定位误差可保持在 3 m 左右. 最大定位误差均出现在测试路段东侧. 从整体上看, 伪距差分定位性能优于卫星差分. 根据 WAAS、EGNOS 和 MSAS 卫星差分信号源在世界上的覆盖范围, 可判断出此时测试的卫星差分信号源来自日本的 MSAS. 依据 GPS 差分定位原理, 基准站和流动站之间的基线距离对差分效果会有显著影响. 本次测试中, 伪距差分基准站距离测试路段的最短距离为 10 m, 最长距离不超过 600 m, 基线距离远小于卫星差分, 因此本次测试的伪距差分定位性能优于卫星差分.

对获得的每组动态定位误差进行统计, 结果见表 1. 从表 1 可以看出: (1) DGPS 模块的单机定位精度为米级; (2) 对于 GARMIN GPS15L 和 Ublox LEA-4S, 伪距差分定位相对单机定位, 定位精度可分别提高精度 20% 和 87%; (3) 伪距差分定位优于卫星差分定位, 卫星差分定位精度优于单机定位.

表 1 定位误差的统计结果

Tab. 1 The statistical result of the positioning error m

测试模块	定位模式	最大 误差	最小 误差	平均 误差	标准差
GARMIN GPS15L	单机	4.97	0.18	3.06	1.17
	伪距差分	5.49	1.07	2.45	0.92
Ublox LEA-4S	单机	11.48	3.71	6.51	2.64
	伪距差分	2.08	0.16	0.79	0.62
Gstar GS-87	卫星差分	5.72	1.51	2.44	1.17
Gstar GS-89m-J	卫星差分	8.01	1.02	3.38	1.12

4 结论

使用本文提出的动态定位精度测定方法, 可以对 DGPS 模块在单机模式、地面伪距差分模式和卫星差分模式下的定位精度进行测试和分析.

本次测试的地面伪距差分定位精度优于卫星差分, 卫星差分定位精度优于单机定位. 对于 GARMIN GPS15L 和 Ublox LEA-4S, 伪距差分定位相对单机定位, 定位精度可分别提高 20% 和 87%.

在视野狭窄地段, 无论单机定位、伪距差分定位还是卫星差分定位, 动态定位精度都受到一定影响, 和视野开阔地段相比, 精度明显下降.

参考文献:

[1] 庄卫东, 刘振东, 王熙. GPS 数据处理及其单点定位精度研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2003, 15 (2): 51-53.

[2] 刘基余. GPS 卫星导航的精度、误差与偏差[J]. 导航, 1998(4): 32-35.

[3] HAN S, ZHANG Q, NOH H, et al. A dynamic performance evaluation method for DGPS receivers under linear parallel-tracking applications [J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(1): 321-329.

[4] TAYLOR R K, SCHROCK M D, BLOOMFIELD J, et al. Dynamic testing of GPS receivers [J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(4): 1017-1025.

[5] 詹舒波, 张其善. GPS/电子地图的坐标转换算法和实现[J]. 北京航空航天大学学报, 1996, 22(5): 530-535.

[6] 罗德安, 廖丽琼. 一种车载 GPS 系统坐标转换公式及其应用[J]. 西南交通大学学报, 2001, 36(4): 365-369.

[7] 冯宝红, 王庆, 万德钧. GPS 车载导航中的坐标转换[J]. 中国惯性技术学报, 2002, 10(6): 29-34.

【责任编辑 周志红】