

多基准站 GPS 定位靶场测试方法研究

李鹏勃, 马方远, 郑善魁, 王 茜

(中国兵器工业试验测试研究院, 陕西 华阴 714200)

摘要: 在靶场试验过程中, 传统的单基准站由于基线长度的限制使其作用范围有限, 从而超出一定距离后, 差分精度随着大气误差相关性的减弱而明显受到影响; 为了解决靶场 GPS 单频伪距差分定位距离远时精度下降问题, 提出了多基准站 GPS 定位伪距差分定位方法; 该方法深入分析伪距方程和伪距差分定位之间的关系; 建立靶场基准站网络实时接收目标定位数据和基准站定位数据并实时传送到控制中心; 利用基于距离的线性内差模型, 设计多基准站数据处理算法和多基线测量数据加权处理方法, 实时解算目标定位信息; 测试结果表明, 多基准站 GPS 定位伪距差分定位方法, 能够有效地解决常规单基准站伪距差分定位精度随用户站与基准站距离增加而降低的问题, 同时提高了测试精度。

关键词: 多基准站; 靶场测试; 数据处理算法

Study on GPS Positioning Range Test Method of Multiple Base Station

Li Pengbo, Ma Fangyuan, Zheng Shankui, Wang Qian

(China Academy of Weapon Industry Test and Measuring, Huayin 714200, China)

Abstract: In the range test, the traditional single reference station has limited range due to the limitation of the baseline length, and the difference accuracy is obviously affected by the decrease of the atmospheric error after a certain distance. In order to solve the problem that the GPS single frequency pseudorange differential positioning accuracy decreased resulted from far distance, a multi-base station GPS positioning pseudorange differential location method is proposed. This method analyzes the relationship between pseudorange equation and pseudorange differential location in depth; establishes a range base station to receive real-time target data and base station positioning data and transmits it to the control center. In order to solve the target location information in real time, this method designs multi-base station data processing algorithm and multi-baseline measurement data weighted processing method, which uses distance difference based linearity difference model. The test results show that the multi-base station GPS positioning pseudorange differential positioning method can effectively solve the problem that the precision of single-base pseudorange differential positioning decreases with the increase of the distance between the subscriber station and the base station, and improves the test precision.

Keywords: multiple base stations; range test; data processing algorithm

0 引言

随着我国国防科技事业的发展, 采用新的测量技术, 提高靶场测控系统的能力, 满足新型武器装备发展需要是靶场建设的一项重要任务。在卫星导航引进勒场以前, 测控主要以雷达和光学装备构成陆基测控系统, 这些测控装备在以往试验中发挥了重要作用。但由于受地球曲率等因素制约, 传统的陆基测控设备存在跟踪范围小、测量目标少、受天气影响较大等难以克服的缺陷, 单纯依赖地面设备完成测控任务, 将使测控系统组成异常庞大。以导航卫星为主的天基测控系统具有跟踪范围大, 系统独立性强, 测量精度高, 多目标、全天候测量能力, 易于飞行器实施自主测控等突出优点。因此充分利用国内外导航卫星资源, 是解决新型装备试验需求的有效途径。

靶场试验测试过程中, 传统的单基准站由于作用范围有限, 受到基线长度的限制, 一般基准站的作用范围为方圆 30 km, 超过 30 km 以后, 大气误差相关性减弱, 差分的结果精度就会明显受到影响, 这种误差用任何差分法都不能消除。针对这一实际问题, 提出采用多基准站在靶场测试方法研究, 多

基准差分 GPS, 利用基准站均匀的空间分布和精确估计的基准站间的对流层延迟、电离层延迟和卫星轨道误差等空间相关误差, 最大程度的消除或者削弱了基准站到用户站基线上的空间相关误差, 使得该基线上的模糊度得以快速准确的确定^[1], 可以有效解决差分过程中由于距离问题带来的精度下降问题, 该测试方法通过在靶场范围内构建多基准站局域网, 不但可以提高测试数据精度, 而且还可以提升靶场测试能力。

1 GPS 单基站差分定位解算

1.1 GPS 卫星定位差分原理

GPS 测量过程中受到卫星星历、钟差、大气折射误差等各种误差的影响, 但是这些误差具有较强的相关性, 因此可以在 GPS 测量中引入相对定位方法, 该方法通过两台 GPS 接收机同步观测相同的卫星, 将一台 GPS 接收机安置于基准站上固定不动, 另一台 GPS 接收机安置于运动的载体上, 通过接收的观测值之间求差, 来消除具有相关性的误差, 提高定位精度。

GPS 差分定位分为以测距码伪距为观测量的动态相对定位和以载波相位伪距为观测量的动态相对定位。测距码伪距相对动态定位, 由安置于点位坐标精确已知的基准站接收机测量出该点至 GPS 卫星的伪距, 该伪距中包含了卫星星历误差、钟差、大气折射误差等各种误差的影响, 由于此时基准站

收稿日期: 2017-06-14; 修回日期: 2017-07-08。

作者简介: 李鹏勃(1983-), 男, 硕士研究生, 高工, 主要从事靶场遥测及 GPS/北斗定位方向的研究。

GPS 接收机的位置已知，利用卫星星历数据可计算出 GPS 基准站至卫星的距离，当运动 GPS 接收机于基准站相距不太远时，两个测量站的误差具有较强的相关性，将两个距离求差，即可得出伪距改正数，可以有效的消除公共误差的影响，提高定位精度。载波相位动态相对定位法，是通过将载波相位修正值发送至用户站来改正其载波相位实现定位，或是通过将基准站采集的载波相位观测值发送至用户站进行求差解算坐标实现定位。

1.2 伪距观测方程

伪距差分是目前应用比较广泛的差分定位技术，其基本原理是：在基准站上利用已知坐标求出测站至卫星的距离，然后将其与接收机测定的含有各种误差的伪距比较，并利用滤波器对所获得的差值进行滤波求出其偏差（伪距改正数），最后将所有卫星的伪距改正数传输给用户站，用户站利用此伪距改正数改正所测量的伪距，求出用户站自身的坐标。

根据基准站三维坐标和卫星星历，可以得出 t 时刻基准站 i 与卫星 j 之间的几何距离，距离计算公式为：

$$D_i^j = \sqrt{(X^j - X_i)^2 + (Y^j - Y_i)^2 + (Z^j - Z_i)^2} \quad (1)$$

式 (1) 中， X^j, Y^j, Z^j 为 t 时刻卫星 S^j 的三维地心坐标，同样 X_i, Y_i, Z_i 为 t 时刻基准站 i 的三维地心坐标。

t 时刻基准站伪距观测方程为：

$$\rho = D_i^j - c(\Delta t_{sv} + \Delta t_r - \Delta t_{ion} - \Delta t_{trop} - \Delta \rho_{rotation}) + c\Delta t_{clk} + V_i^j$$

可以得出：

$$\rho = D_i^j - c(\Delta t_{sv} + \Delta t_r) + \Delta \rho_{ion} + \Delta \rho_{trop} + \Delta \rho_{rotation} + b_i + V_i^j \quad (2)$$

式 (2) 中， D_i^j 为基准站 i 到卫星 j 的几何距离， Δt_{sv} 为 GPS 卫星信号发射时刻卫星时钟误差， Δt_r 为相对论效应误差， $\Delta \rho_{ion}$ 为信号传播路径电离层折射误差， $\Delta \rho_{ion} = c\Delta t_{ion}$ ； $\Delta \rho_{trop}$ 为信号传播路径对流层折射误差， $\Delta \rho_{trop} = c\Delta t_{trop}$ ； $\Delta \rho_{rotation}$ 为地球旋转效应改正， $\Delta \rho_{rotation} = c\Delta \rho_{rotation}$ ； b_i 为 t 时刻基准站接收机时钟误差， $b_i = c\Delta t_{clk}$ ； V_i^j 为伪距观测噪声。

同理用户接收机 u 到卫星 j 的几何距离和伪距观测方程为：

$$D_u^j = \sqrt{(X^j - X_u)^2 + (Y^j - Y_u)^2 + (Z^j - Z_u)^2}$$

$$\rho = D_u^j - c(\Delta t_{sv} + \Delta t_r - \Delta t_{ion} - \Delta t_{trop} - \Delta \rho_{rotation}) + c\Delta t_{clk} + V_u^j \quad (3)$$

可以得出：

$$\rho = D_u^j - c(\Delta t_{sv} + \Delta t_r) + \Delta \rho_{ion} + \Delta \rho_{trop} + \Delta \rho_{rotation} + b_u + V_u^j \quad (4)$$

式 (4) 中， D_u^j 为用户站 u 到卫星 j 的几何距离， Δt_{sv} 为 GPS 卫星信号发射时刻卫星时钟误差， Δt_r 为相对论效应误差， $\Delta \rho_{ion}$ 为信号传播路径电离层折射误差， $\Delta \rho_{ion} = c\Delta t_{ion}$ ； $\Delta \rho_{trop}$ 为信号传播路径对流层折射误差， $\Delta \rho_{trop} = c\Delta t_{trop}$ ； $\Delta \rho_{rotation}$ 为地球旋转效应改正， $\Delta \rho_{rotation} = c\Delta \rho_{rotation}$ ； b_u 为 t 时刻基准站接收机时钟误差， $b_u = c\Delta t_{clk}$ ； V_u^j 为伪距观测噪声。

1.3 GPS 差分定位解算

设基准站为 i ，目标站为 u ，将基准站和目标站对应第 j 颗卫星的伪距观测方程作差，即可得到伪距单差观测方程，卫星 j 的钟差项被消除。

$$\Delta \rho_{ui}^j = D_u^j - D_i^j + b_u - b_i + V_u^j - V_i^j = D_u^j - D_i^j + b_u + V_{ui}^j \quad (5)$$

式 (5) 中， $\Delta \rho_{ui}^j$ 为伪距单差观测值， $b_u = b_u - b_i, V_{ui}^j = V_u^j - V_i^j$ 。

基准站 i 的坐标 (X_i, Y_i, Z_i) 已知，用户站 u 的概略坐标为 (X_0, Y_0, Z_0) ，改正数为 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ ，所以用户站的精确坐标为：

$$\begin{cases} X = X_0 + \Delta x \\ Y = Y_0 + \Delta y \\ Z = Z_0 + \Delta z \end{cases} \quad (6)$$

在 (X_0, Y_0, Z_0) 对式 (5) 进行泰勒展开，取一阶项将方程线性化得到：

$$V_{ui}^j = e_{j1}\Delta x + e_{j2}\Delta y + e_{j3}\Delta z - b_{ui} + \Delta \rho_{ui}^j - D_{u0}^j + D_i^j \quad (7)$$

式 (7) 中， e_{j1}, e_{j2}, e_{j3} 为用户相对第 j 颗卫星的方向余弦：

$$e_{j1} = \frac{X_s^j - X_0}{D_{u0}^j}, e_{j2} = \frac{Y_s^j - Y_0}{D_{u0}^j}, e_{j3} = \frac{Z_s^j - Z_0}{D_{u0}^j}$$

$$D_i^j = \sqrt{(X_s^j - X_0)^2 + (Y_s^j - Y_0)^2 + (Z_s^j - Z_0)^2} \quad (8)$$

式 (8) 中， X_s^j, Y_s^j, Z_s^j 为卫星发送至基准站信息时刻位置，基准站 i 和卫星位置已知，基准站 i 到卫星的距离已知，所以：

$$D_{i0}^j = \sqrt{(X_s^j - X_0)^2 + (Y_s^j - Y_0)^2 + (Z_s^j - Z_0)^2} \quad (9)$$

式 (9) 中， X_s^j, Y_s^j, Z_s^j 为卫星发送至用户站信息时刻的位置。

式 (7) 中，令 $L_{ui}^j = D_{i0}^j - \Delta \rho_{ui}^j - D_i^j$ ，所以伪距单差观测方程为：

$$V_{ui}^j = e_{j1}\Delta x + e_{j2}\Delta y + e_{j3}\Delta z - b_{ui} - L_{ui}^j \quad (10)$$

将参考卫星 1 和其它观测卫星 j ($j=2, 3, \dots, n$) 的伪距单差方程作差，可以得到双差观测方程：

$$V_{ui}^{lj} = e_{j1}^l\Delta x + e_{j2}^l\Delta y + e_{j3}^l\Delta z - L_{ui}^{lj} \quad (11)$$

式 (11) 中， $V_{ui}^{lj} = V_{ui}^j - V_{ui}^1; e_{j1}^l = e_{j1} - e_{11}; e_{j2}^l = e_{j2} - e_{12}; e_{j3}^l = e_{j3} - e_{13}; L_{ui}^{lj} = L_{ui}^j - L_{ui}^1$ 。

将式 (11) 转化为矩阵形式为：

$$V = A\Delta X - L \quad (12)$$

其中：

$$\Delta X = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)^T$$

$$A = \begin{bmatrix} e_{21}^1 & e_{22}^1 & e_{23}^1 \\ e_{31}^1 & e_{32}^1 & e_{33}^1 \\ \dots & \dots & \dots \\ e_{n1}^1 & e_{n2}^1 & e_{n3}^1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$L = (L_{ui}^{12}, L_{ui}^{13}, \dots, L_{ui}^{1n})^T$$

式 (13) 中， n 为基准站和用户站同步观测到的卫星数。

当两个站同时观测到的卫星数 $n \geq 4$ 时，误差方程的最小二乘解为：

$$\Delta X = (A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (14)$$

式 (14) 中，矩阵 P 为 $(n-1) \times (n-1)$ 的双差观测值权矩阵。

$$P = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} n-1 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & n-1 & \dots & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & -1 & \dots & n-1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

通过计算 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ ，以及用户站 u 的概略位置，可以得出用户站 u 的位置估计 (x, y, z) 。然后通过得到的用户站 $(x, y,$

z) 取代 (X₀, Y₀, Z₀), 重复以上计算过程, 直到 $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} < \xi, \xi$ 为给定的门限值。虽然单基准站差分可以得到较为精确的坐标值, 但是由于受到基线长度的限制, 会导致测量精度降低^[2]。

2 多基准站 GPS 靶场应用方法与数据处理

2.1 GPS 基准站局部区域差分

GPS 基准站局部区域差分, 是指在一定的区域布设多个 GPS 基准站, 构成 GPS 基准站网, 位于该区域的用户根据多个基准站所提供的改正信息经平差计算后得出用户站定位改正数。区域 GPS 差分系统较单 GPS 差分的可靠性和精度均有所提高, 由于数据处理是把各种误差的影响综合在一起进行改正的, 而实际上不同的误差对定位的影响特征是不同的, 如星历误差对定位的影响是于用户站至基准站的距离成正比的, 对流层延迟误差主要取决于用户站和基准站的气象元素间的差别, 并不一定于距离成正比。因此, 将各种误差综合在一起, 通过统一的模型进行改正, 必然会存在不合理的因素, 影响定位精度, 而且这种影响会随着用户站离基准站的距离增大而增大, 导致差分定位的精度迅速下降。所以在区域 GPS 差分系统中, 用户站不能距离基准站太远, 基准站需保持一定的密度和均匀度, 才能保证区域 GPS 差分系统的定位精度。

2.2 多基准站系统靶场试验测试方法

在靶场区域内, 根据试验实际情况, 沿弹道线两侧以等边三角形的样式, 均匀布设相距 40~60 km 两个以上连续运行的 GPS 基准站, 构成一个基准站网, 利用广域差分 GPS 和具有多个基准站的局域差分 GPS 中的基本原理和方法, 经过有效组合, 构建 GPS 基准站网络^[3]。首先, 基准站上配置双频全波长 GPS 接收机, 该接收机能同时提供精确的双频伪距观测值, 基准站按规定的采样率进行连续观测, 并通过实时数据链将观测数据传送至控制中心进行数据处理; 用户站将其概略坐标位置发送至控制中心, 控制中心根据不同断收集 GPS 基准站网中每个 GPS 基准站的数据信息, 寻找用户站周围基准站的数据进行网平差, 算出用户站的观测改正数, 实时解算用户站精密坐标, 这就是多基准站系统工作原理。多基准站工作原理如图 1 所示。

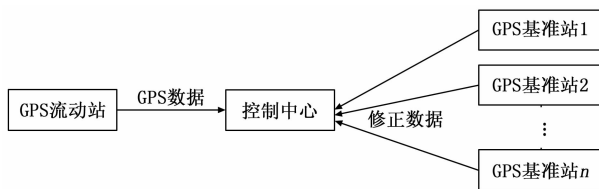


图 1 多基准站工作原理

2.3 多基准站数据算法设计

多基站伪距改正数受用户站与基准站的空间距离影响比较大, 经过分析比较, 选取 Gao 在 1997 年提出的基于距离的线性内差模型。该方法主要用于基于距离相关偏差的改正, 可以有效地消除电离层延迟, 减小轨道差、电离层偏差。算法设计流程如图 2 所示。

首先将弹道线两侧的基准站利用 Delaunay 不规则三角网方法构建三角网, 利用上位机接收到的基准站数据, 计算出各基准站组成的三角网重心坐标, 结合上位机接收到的用户站坐标数据, 遍历所有基准站组成的三角网重心坐标, 并计算出

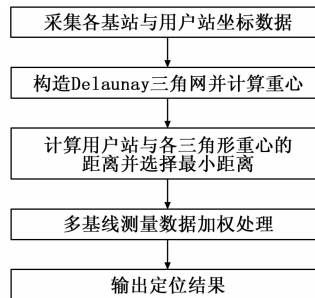


图 2 算法设计流程

用户站与基准站三角网重心的距离, 距离最短的三角网为用户站所选择的最佳的三角网, 最后通过基于距离的线性内插模型求解加权伪距改正数^[4], 从而实现用户站精确定位。

加权伪距改正数 \tilde{S} 为:

$$\tilde{S} = \sum_{k=1}^n \rho_{ik} S_{ik} \quad k = 1, 2, 3 \quad (16)$$

其中: S_{ik} 为各个基准站伪距改正数, ρ_{ik} 分别为各个基准站的加权系数。

基准站加权系数 ρ_{ik} 为:

$$\rho_{ik} = \frac{1}{D_{ik}} \sum_{k=1}^n \frac{1}{D_{ik}} \quad (17)$$

其中: D_{ik} 为用户站至基准站的距离。

$$D_{ik} = \sqrt{(X_{ik} - X_{0k})^2 + (Y_{ik} - Y_{0k})^2 + (Z_{ik} - Z_{0k})^2} \quad (18)$$

式 (18) 中, i 表示数据为 t_i 时刻的结果, k 表示基准站编号, $k=1, 2, 3, \dots$, (X_{ik}, Y_{ik}, Z_{ik}) 为 t_i 时刻用户站坐标位置, (X_{0k}, Y_{0k}, Z_{0k}) 为第 k 基准站的站址坐标^[5]。

2.4 试验测试

通过在靶场进行跑车实际测试, 将普通 GPS 和差分 GPS 模块同时装载在车上进行测试, 通过数传电台将两套 GPS 装置的 GPS 数据以及基准站数据发送至控制中心; 普通 GPS 的数据刷新率为 20 Hz, 差分 GPS 的刷新率为 1 Hz, 进行实时解析, 普通 GPS 实时处理数据如图 3 所示, 差分 GPS 实时处理数据如图 4 所示。

1	UTC时间	纬度	经度	高度	北向速度	东向速度	天向速度
2	20449.39	53.2954	116.12.30372	50.5	-3.6	-24	0
3	20449.05	53.29188	116.12.3036	50.5	-3.7	-24	0
4	20449.139	53.29122	116.12.30348	50.5	-3.7	-23.9	0.2
5	20449.1539	53.29062	116.12.30336	50.5	-3.8	-23.9	0.3
6	20449.239	53.28996	116.12.30324	50.5	-3.8	-24.2	0
7	20449.2539	53.2893	116.12.30306	50.5	-3.8	-24.2	0
8	20449.339	53.28864	116.12.30294	50.5	-3.9	-23.8	0.7
9	20449.3539	53.28804	116.12.30282	50.7	-4	-23.9	-0.2
10	20449.439	53.28738	116.12.3027	50.7	-3.8	-23.8	0.4
11	20449.4539	53.28672	116.12.30258	50.7	-3.8	-23.8	0.4
12	20449.539	53.28606	116.12.30246	50.7	-3.8	-23.8	0
13	20449.5539	53.28546	116.12.30234	50.7	-3.8	-23.8	-0.1
14	20449.639	53.28482	116.12.30216	50.7	-4.3	-26.3	-0.1
15	20449.6539	53.2839	116.12.30198	50.7	-4.4	-26.9	-0.2
16	20449.739	53.28336	116.12.3018	50.4	-4.7	-24.3	-2.6
17	20449.7539	53.2827	116.12.30168	50.3	-4.9	-24.1	-3.3
18	20449.839	53.28204	116.12.30156	50.8	-3.6	-23.7	2.7
19	20449.8539	53.28138	116.12.30144	51	-3.4	-23.5	3.8
20	20449.939	53.28072	116.12.3012	50.8	-5.4	-24.1	1
21	20449.9539	53.28006	116.12.30096	50.8	-5.8	-24.1	1.1
22	20450.39	53.27934	116.12.30084	50.9	-5.1	-24.6	1.4

图 3 普通 GPS 实时数据处理结果

从差分 GPS 输出的 GNRMC 数据格式中可以看出, 差分 GPS 模块处于定位状态, 且处于差分状态, 速度为 47 节左右, 转换后速度为 24 m/s 左右, 通过对比普通 GPS 和差分 GPS 数据, 经度、纬度、速度数据基本相符, 表明多基准站靶场试验测试方法以及多基准站数据处理算法, 可以有效地解决单基站由于距离增加, 精度降低的问题。

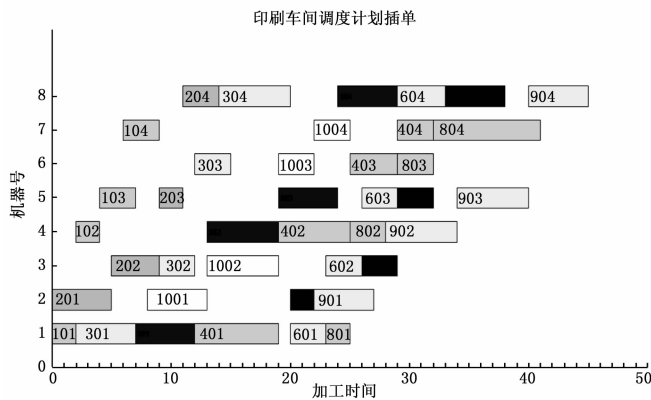


图 9 紧急插单再调度

出的再调度计划方案主要重新调了印品 4, 其他产品并未受影响, 可知本调度方案的偏离度较低。在正常调度图 7 中时刻 8 时, 印品 4 正在印刷机 2 上进行印刷, 插入印品 10 时, 在新的调度方案图 9 中, 印品 4 在 12 时刻被安排在印刷机 1 上重新印刷, 印品 4 的后续加工全部重新安排了新的设备进行加工, 印品 10 在 8 时刻被安排在印刷机 2 上开始进行印刷, 在 26 时刻加工完成, 印品 4 在 32 时刻完成加工, 再调度方案符合交付日期。

4 结论

本文主要研究了品种多样、产品工艺多变、个性化需求高、生产周期短的传统印刷车间动态调度问题, 以最小最大加工时间和调度的稳定性为调度优化目标, 通过采用滚动窗口机制, 结合 GA 算法建立了印刷车间动态调度模型。利用标准问题验证了本文 GA 算法的有效性, 根据印刷车间实际情况解决了当突发事件设备故障、紧急插单发生时, 重新生成调度方案的问题, 再调度方案具有可行性、偏离度低、满足交付日期。该动态调度模型贴合实际印刷车间情况, 有效地提高了交货率、生产效率和机器利用率等, 对印刷企业排产方式做了新的探索, 为印刷企业管理生产提供了新的研究方向。但本文研究

的优化目标任然较为单一, 收集的数据较少, 日后将继续采集数据建立更加贴合印刷车间的调度模型。

参考文献:

[1] 张国辉. 多阶段人机协同求解动态柔性作业车间调度问题 [J]. 控制与决策, 2016, 31 (1): 169-172

[2] 余琦玮, 蒋海清. 柔性作业车间动态调度问题研究 [J]. 管理锦囊, 2013.

[3] 吕盛萍, 乔立红. 工艺规划与车间调度及两者集成的研究现状和发展趋势 [J]. 计算机集成及制造系统, 2014, 20 (2).

[4] 王万良, 王 磊, 王海燕. 基于混合差分进化算法的作业车间动态调度 [J]. 计算机集成及制造系统, 2012, 18 (3): 531-539.

[5] 刘 欣, 严宏森. 基于窗口的某航空发动机装配车间动态调度研究 [J]. 计算机技术与发展, 2013 (12): 213-218.

[6] 林志国. 基于滚动窗口的集装箱码头泊位动态调度研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2009.

[7] 李志敏. 印刷厂管理 ERP 研究与开发 [D]. 西安: 西安理工大学, 2007.

[8] 赵奕然. 印刷企业排产系统的研究与实现 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.

[9] 王淑娟. 柔性作业车间的多目标动态稳健调度研究 [D]. 山东: 山东大学, 2014.

[10] 何燕. 基于遗传算法的车间调度优化及仿真 [D]. 湖北: 武汉理工大学, 2006.

[11] 杨冬涛. 基于遗传算法的 MES 车间生产计划动态调度研究 [D]. 广东: 广州工业大学, 2008.

[12] 黄英杰. 基于目标级联法和智能优化算法的车间调度问题研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.

[13] 贾兆红. 粒子群优化算法在柔性作业车间调度中的应用研究 [D]. 北京: 中国科学技术大学, 2008.

[14] 陈振同. 基于改进遗传算法的车间调度问题研究与应用 [D]. 大连: 大连理工大学, 2007.

[15] Geoff L. Application of mathematical programming—before, now and after. Operation Research Society, 1985, 35 (5): 347-356

[16] 徐雯雯. 基于遗传算法的车间动态粗调度研究 [D]. 济南: 山东大学, 2010.

(上接第 119 页)

```

$ONEPE, 2.218, 5.393, 0.092, 0.189*57
$ORNC, 2.2, 3.12339, 6, 9, 49, 45*55
$ONEGI, 020446, 0, 3.335, -23.491, 0.072, 184.533, -1.507, 8.755*55
$ONEPS, 3032916*4A
$OPGGA, 020448, 00, 3953.3061273, N, 11612.3069619, E, 2.12, 0.958, 69.8430, M, -7.0037, M, 2.0, *#69
$OPGSA, A, 3, 101, 102, 103, 104, 106, 109, ..., 2.196, 0.958, 1.976*38
$BDGSA, A, 3, 101, 102, 103, 104, 106, 109, ..., 2.196, 0.958, 1.976*29
$ORNIC, 020448, 00, A, 3953.3061273, N, 11612.3069619, E, 46.886, 187.543, 090217, ..., D, *#09
$ONEPE, 2.094, 5.095, 0.084, 0.174*51
$ORNC, 2.2, 2.12332, 6, 9, 49, 45*54
$ONEPS, 3032917*4A
$OPGGA, 020449, 00, 3953.2931834, N, 11612.3044499, E, 2.12, 0.958, 69.9832, M, -7.0039, M, 2.0, *#68
$OPGSA, A, 3, 13, 15, 18, 20, 21, 24, ..., 2.196, 0.958, 1.976*38
$BDGSA, A, 3, 101, 102, 103, 104, 106, 109, ..., 2.196, 0.958, 1.976*29
$ORNIC, 020449, 00, A, 3953.2931834, N, 11612.3044499, E, 47.199, 188.780, 090217, ..., D, *#0D
$ONEPE, 2.062, 5.050, 0.077, 0.159*52
$ORNC, 2.2, 2.12335, 6, 9, 49, 45*50
$ONEGI, 020448, 00, -3.166, -23.911, 0.159, 187.643, -2.516, 1.814*54
$ONEPS, 3034918*42
$OPGGA, 020450, 00, 3953.2802467, N, 11612.3016307, E, 6.12, 0.958, 69.8560, M, -7.0041, M, *#40
$OPGSA, A, 3, 13, 15, 18, 20, 21, 24, ..., 2.197, 0.958, 1.976*38
$BDGSA, A, 3, 101, 102, 103, 104, 106, 109, ..., 2.197, 0.958, 1.976*28
$ORNIC, 020450, 00, A, 3953.2802467, N, 11612.3016307, E, 47.588, 190.225, 090217, ..., E, *#0F
$ONEPE, 1.953, 4.951, 0.079, 0.169*52
$ORNC, 2.2, 2.12311, 6, 9, 49, 45*50
$ONEGI, 020449, 00, -3.706, -23.997, 0.162, 188.651, -2.509, 2.941*53
$ONEPS, 3035919*42
$OPGGA, 020451, 00, 3953.2672509, N, 11612.2984232, E, 2.12, 0.958, 70.2598, M, -7.0043, M, *#42
$OPGSA, A, 3, 13, 15, 18, 20, 21, 24, ..., 2.196, 0.958, 1.976*38
$BDGSA, A, 3, 101, 102, 103, 104, 106, 109, ..., 2.196, 0.958, 1.976*29
$ORNIC, 020451, 00, A, 3953.2672509, N, 11612.2984232, E, 47.424, 191.320, 090217, ..., E, *#08
$ONEPE, 1.938, 4.932, 0.075, 0.165*50
$ORNC, 2.2, 2.12335, 6, 9, 49, 45*50
$ONEGI, 020450, 00, -4.316, -24.098, 0.380, 189.700, -4.091, 4.185*56
$ONEPS, 3036920*4B

```

图 4 差分 GPS 实时数据

3 总结

多基站 GPS 靶场应用方法研究, 主要从 GPS 在靶场、航

空、航天等领域的应用日趋广泛, 在测试技术发展中所发挥的重要作用出发, 分析了 GPS 伪距差分定位的原理, 以及多基准站差分的特点, 将多基准站差分技术应用于靶场测试, 构建了多基准站靶场试验测试方法以及多基准站数据算法设计, 有效的解决了常规单基准站伪距差分定位精度随用户站与基准站距离增加而降低的问题, 提高了用户站在整个监测网络中的定位精度。

参考文献:

[1] 张 勤. GPS 测量原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[2] 鲁照权. 多基站 GPS 差分定位在航标遥测遥控中应用 [J]. 通讯技术, 2012, 246 (45): 104-106.

[3] 付向斌. 航标灯多基站 GPS 伪距差分定位新方法 [J]. 武汉大学学报, 2011, 5 (33): 735-741.

[4] 孙中豪. 基于平面 Delaunay 三角网的多基站差分 GPS 数据处理方法 [J]. 测绘地理信息, 2012, 37 (5): 37-39.

[5] 李鹤峰. 基于 CORS 的多基准站 BDS/GPS 融合差分网定位性能分析 [J]. 大地测量与地球动力学, 2014, 34 (6): 81-85.