

轮式移动机器人 DGPS 与图像匹配组合导航技术^①

王琪¹, 苏敏¹, 苏永振²

¹(南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 330063)

²(防空兵学院, 郑州 450000)

摘要: 利用卡尔曼滤波器将 DGPS 与 SIFT 图像匹配算法进行了深组合, 同时针对 SIFT 算法计算量大、计算时间长的缺点, 对其进行了改进, 经过实验, 改进后的算法能够很好的满足系统本身对于实时匹配的要求, 提高了系统导航的精度。

关键词: 组合导航; DGPS; SIFT 算法; 卡尔曼滤波

Wheeled Mobile Robot DGPS and Image Matching Integrated Navigation System

WANG Qi¹, SU Min¹, SU Yong-Zhen²

¹(School of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

²(School of Air Defense Forces, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Using Kalman filter for the deep integration of DGPS and image matching, we improved it because the SIFT feature description of an image is typically large and slow to compute. The experiments show that the improved algorithm can meet the system's requirements for real-time matching for integrated navigation, increased the system navigation accuracy.

Key words: integrated navigation; DGPS; SIFT algorithm; Kalman filter

轮式机器人作为移动机器人的重要分支, 导航定位是其应该具备的基本的功能。即能够在复杂、未知、动态变化的环境中, 实现精确定位与导航。GPS 系统在全球有着高达 98% 的覆盖率, 并且 GPS 技术已经相当成熟, 为民用和军用提供了新的导航方式^[1]。基于 GPS 的导航定位系统由于其巨大的经济和社会效益得到了国内外各部门的重视。

对于机器人和车载导航系统, 实现对它们的精确定位和导航是最基本的要求, 目前有多种导航方式来提高导航系统的定位导航精度, 例如实时动态载波相位差分 GPS、航位推算、无线电信标等。但是实现这些方法的成本较高、技术实现难度较高^[2,3], 同时 GPS 定位由于受到各种误差的影响, 定位精度是在 10~40m 范围内, 难以满足移动机器人定位导航的需求。所以本文提出了 DGPS 导航模式, 提高单点定位的精度, 并结合图像匹配法, 提高导航的定位精度。

图像匹配法在导航定位系统中也叫地图匹配法, 是借助 GIS 电子地图库中高精度的道路信息作为分类模板进行信息识别, 根据识别的结果矫正 DGPS 导航中由于各种影响而引起的定位误差, 可以大大改善自主导航系统中的导航定位精度。

1 DGPS 与图像匹配组合导航原理

轮式移动机器人 DGPS/图像匹配组合导航系统的框图如图 1 所示。DGPS 指的是伪距 DGPS, 首先是在已知精确位置的点上配备一台 GPS 接收机作为基准站并和用户同时进行 GPS 观测, 测量出该点至所有可见卫星的伪距, 收集星历数据, 由采集到的卫星轨道参数计算出每一个时刻卫星在地球坐标系中的坐标, 通过与基准站已知的精确坐标计算出每一时刻基准站接收到各卫星的真实距离, 然后用基准站接收机测得的基准站到各可见星的伪距减去计算得到的真实距离,

^① 收稿时间:2012-08-18;收到修改稿时间:2012-09-24

就得到伪距修正值 $\Delta\rho_j^i$ ，通过数据链将伪距修正值实时的发送给车载 GPS 接收器。车载 GPS 接收机通过自身测量到的到各个卫星间的伪距值减去 $\Delta\rho_j^i$ ，得到车载 GPS 接收机到各个卫星的真实距离。在接收 DGPS 信号之后，调用图像匹配法，修正伪距差分 GPS 由于随距离而增加的系统误差，然后对组合导航系统采用 Kalman 滤波器对导航参数进行评估，估计系统的各种误差状态，之后用误差状态的评估值校正系统，达到提高系统导航精度的目的。本系统中使用的是将输出修正（开环 Kalman 滤波器）和反馈修正（闭环 Kalman 滤波器）相结合的混合修正方案，提高了卡尔曼滤波器的估计精度^[4]。

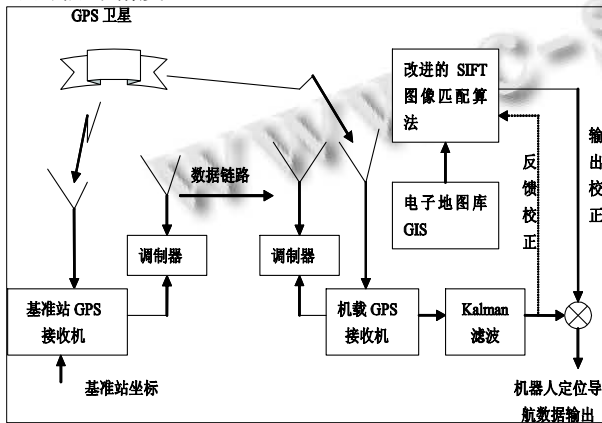


图 1 轮式移动机器人 DGPS/图像匹配组合导航系统方框图

2 伪距差分GPS的观测值

在坐标精确已知的基准站上，GPS 接收机测量出全部卫星的伪距 ρ_j^i 和收集全部卫星的星历^[5,6]，关系如下：

$$\rho_j^i - (\alpha_j^i b + \beta_j^i b) = \rho_j^i - \alpha_j^i b - \beta_j^i b = \zeta_{j1}^i \delta x_j + \zeta_{j2}^i \delta y_j + \zeta_{j3}^i \delta z_j + \delta t_u + V_{j\beta}^i \quad (1)$$

式中，j—基准站；

i—可见星，i=1,2,⋯,k,k 表示可见星数；

ζ_{j1}^i —基准站 j 接收到卫星 i 的电离层误差；

ζ_{j2}^i —基准站 j 接收到卫星 i 的对流层误差；

ζ_{j3}^i —多路径误差；

t_u —接收机时钟误差；

$V_{j\beta}^i$ —接收机噪声误差；

δ —参数；

(x_j, y_j, z_j) 是基准站坐标。

令 $\Delta\rho_j^i = \rho_j^i - \beta_j^i b$ ，(1)可以写为

$$\Delta\rho_j^i - n_j^i \lambda = \begin{bmatrix} \zeta_{j1}^1 & \zeta_{j2}^1 & \zeta_{j3}^1 & 1 \\ \zeta_{j1}^2 & \zeta_{j2}^2 & \zeta_{j3}^2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \zeta_{j1}^k & \zeta_{j2}^k & \zeta_{j3}^k & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_j \\ \delta y_j \\ \delta z_j \\ \delta t_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{j\beta}^1 \\ V_{j\beta}^2 \\ \vdots \\ V_{j\beta}^k \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中， $n_j^i \lambda$ —未定值（整周模糊度）。

因为基准站坐标是精确已知的，所以 $\delta x_j, \delta y_j, \delta z_j$ 均为零，由(2)可得

$$\Delta\rho_j^i = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \delta t_u + \begin{bmatrix} V_{j\beta}^1 \\ V_{j\beta}^2 \\ \vdots \\ V_{j\beta}^k \end{bmatrix} \quad (3)$$

对于移动站，由 GPS 接收机可观测到其坐标为 (x_r, y_r, z_r) ，那么可以得到轮式移动机器人真实位置 (x_r, y_r, z_r) ，其中

$$\begin{aligned} x_r &= x_j - \Delta\rho_j^i \\ y_r &= y_j - \Delta\rho_j^i \\ z_r &= z_j - \Delta\rho_j^i \end{aligned} \quad (4)$$

3 图像匹配方法及其在导航系统中的修正过程

虽然伪距 DGPS 在理论上有很高的导航定位精度，但是由于各种原因 GPS 会产生中断，并且随着用户与参考站间的距离增加，会出现系统误差，所以通过图像匹配进行修正，轮式机器人行驶的路线和电子地图库上的信息进行实时匹配，在导航系统中每 1s 调用一次图像匹配算法，利用之前的积累数据和接下来的数据自动进行误差修正，然后利用系统管理程序实时快速的处理，在电子地图上得到机器人的正确位置。

本文中的图像匹配方法的基本思想是利用历史行走轨道对地图数据库的道路信息进行实时模式识别。行车轨迹是待匹配样本，以改轨迹曲线附近的所有道路上的道路曲线作为状态模板，通过待匹配样本与模板间的匹配，选择形状相似度最高的模板作为匹配结果^[7]。

为了达到较好的导航效果，在图像匹配方面，本文中采用的是改进的 SIFT 算法。SIFT(scale invariant feature transform)是 Low 等人提出并完善的，该算法具

有尺度、选择、放射、视角、光照不变性，在目标的运动、遮挡、噪声等因素影响下也有比较好的匹配效果，在目标跟踪定位、图像识别等方面得到了广泛的应用^[8]。

但是 SIFT 算法在检测关键点时即使物体很少也能够产生大量的 SIFT 特征向量，计算量很大，相应的计算时间较长，不能满足导航中对图像匹配实时性的要求。所以本文在保留原来 SIFT 算法所有重要属性的基础上对其进行改进。

改进方法：在 SIFT 特征匹配上增加一个特征组匹配层来减少其处理时间。这个层把特征组考虑在内并且给出特征间多空间关系的描述，特征组允许不同的特征匹配，减少 SIFT 不必要的特征值提取，提高匹配速度。

计算图像的相似点的创新方法是简化并且充分利用 SIFT 算法使用 64 个特征描述子(在标准 SIFT 算法中是 128 个)，减少匹配时间是通过以下两个步骤实现的。

①原始图像的子图像中自适应改变 SIFT 算法中的参数；

②提取稳定的关键点。

改进的 SIFT 算法的阈值 T_r 由公式(5)计算得到。

$$T_r = k \cdot \frac{\sum_{i,j=0}^{DimX, DimY} |I(x_i, y_j) - \bar{I}(x_i, y_j)|}{DimX \cdot DimY} \quad (5)$$

式中 k 是比例因子，DimX, DimY 是图像 x, y 的尺寸， $\bar{I}(x_i, y_j)$ 是被处理图像的平均亮度值。

标准 SIFT 算法和改进的 SIFT 算法相似图像间的匹配实例对比。

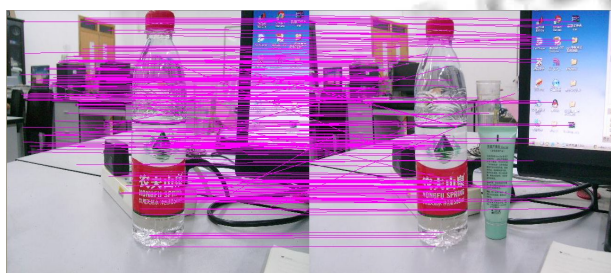


图 1 标准 SIFT 算法匹配

分析匹配结果和数据发现，改进的 SIFT 算法的优点在于在保持其原来的优点上，提高了算法的实时性。

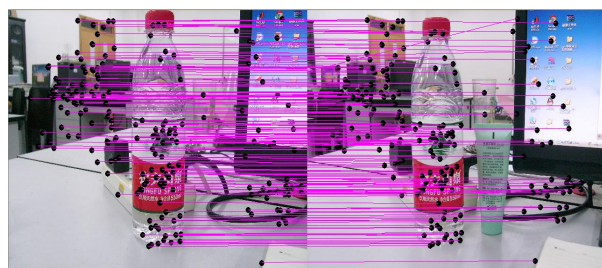


图 2 改进的 SIFT 匹配

表 1 匹配结果对比

	匹配的特征点数	匹配所用的时间 (ms)
标准 SIFT	276	6214.74
改进的 SIFT	193	4534.183

4 实验结果

为验证本文中的方法，对其进行了仿真，在仿真中充分考虑了影响 DGPS 定位系统精度的因素，对 DGPS/图像匹配结果进行 Kalman 滤波后得到机器车在行走过程中的位置误差结果。从图中可知，本方法的精度可以控制在 1m 之内。

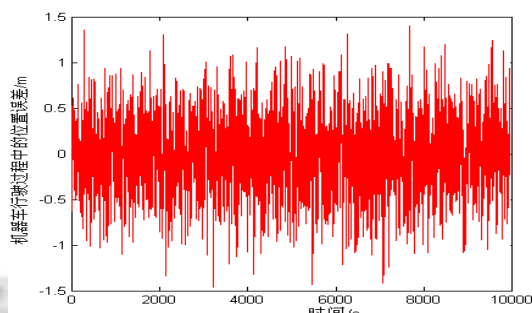


图 3 位置误差

5 结论

DGPS 与 GPS 相比，能够克服星历误差、电离层误差、对流层误差、多通道误差等，得到了广泛的应用。在 DGPS/图像匹配组合导航系统中，集中了各自导航定位技术的优势，能够提供各自导航技术无法单独提供的连续、精确的导航定位信息。系统中改进的 SIFT 算法，具有很强的实时性，在各种不同的路段状况均使用。虽然理论上 DGPS/图像匹配组合系统长期位置精度为 1m 左右，但是在实际应用中，该方式需要在基准站和移动站之间进行实时的数据传输，比较复杂。

(下转第 195 页)

络,协调器对光传感器节点进行属性配置后,光传感器定期发送属性值报告.利用 SmartRF? Packet Sniffer 软件进行包的抓取,结果如图 3 所示:

P.nbr.	Time (us)	Dest. PAN	Dest. Address	Source Address	APS Dest. Endpoint	APS Cluster Id	APS Profile Id	APS Src. Endpoint	FCS
RX 49	+17658295 =17658295	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 61	+3750235 =21408530	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 74	+3750921 =25159451	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 87	+3749492 =28908943	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 99	+3750731 =32659674	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK
RX 111	+3749706 =36409380	0x5B61	0x0000	0x796F	0x00	0x0400	0x0104	0x02	OK

图 3 包信息图

由图 3 可以看出,在 PAN ID 为 0x5B61 的网络中,源地址为 0x796F 的光传感器节点的 0x02 端点每隔一定时间间隔,向目的地址为 0x0000 的协调器的 0x00 端点发送 Profile Id 为 0x0104 (HA 应用子集 ID) 的 Cluster Id 为 0x0400 (照度测量簇 ID) 的属性报告数据.在接收到属性配置命令后,光传感器设备节点周期性产生报告属性命令,发送属性报告给协调器节点.

4 结语

ZigBee 联盟的家庭自动化 (HA) 网络是智能家居

系统发展的一个方向.文章给出了一种基于 Z-Stack 的符合 HA 规范的测量与传感类终端节点的设计方案,并以一光传感器节点设备为实例,进行了方案的验证.实践表明,应用 Z-Stack 来构建符合 HA 规范的测量与传感类节点设备是切实可行并且有效的.

参考文献

- 瞿雷,刘盛德,胡咸斌.ZigBee 技术及应用.北京:北京航空航天大学出版社,2007.4-8.
- ZigBee Alliance. ZigBee Home Automation Public Application Profile.http://www.zigbee.org/Standards/ZigBee Home Automation/Overview.aspx,2010,2-8.
- 钟永锋,刘永俊.ZigBee 无线传感器网络.北京:北京邮电大学出版社,2011.190.
- ZigBee Alliance. ZIGBEE CLUSTER LIBRARY SPECIFICATION. http://www.zigbee.org/Standards/Downloads.aspx, 2008,5-29.
- 李长庚,刘威鹏,胡纯意,侯铮.基于 ARM 和 ZigBee 的 WSN 节点设计与实现.计算机工程,2010,36(17):135-137.
- Texas Instruments Incorporated. A True System-on-Chip Solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications.http://www.ti.com.cn/product/cn/cc2530,2011-02.
- KuangJunBin. TI Z-Stack 协议栈开发环境和工作流程. http://bbs.ednchina.com/BLOG_ARTICLE_247711.HTM, 2009,7-31.

(上接第 198 页)

参考文献

- Frontoni E, Zingaretti P. Visual feature group matching for autonomous robot localization. 14th International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP 2007)IEEE.
- 曹福祥,保铮,等.用于 SAR 运动补偿的 DGPS/SINS 组合系统研究.航空学报,2001,22(2),121-124.
- 苏洁,周东方,岳春生.GPS 车辆导航中的实时地图匹配算法.测绘学报,2001,30(3),252-256.
- 林敏敏,房建成,高国江.GPS/SINS 组合导航系统混合修正卡尔曼滤波方法.中国惯性技术学报,2003,11(3):29-33.
- 杨春钧.载波相位差分 GPS/惯性组合导航.南京航空航天大学学报,2000,32(1),25-30.
- 苏惠敏,周鹏,等.GPS/INU/MM 车辆定位导航系统研究.航空学报,2001,22(2):171-174.
- 傅卫平,秦川,等.基于 SIFT 算法的图像目标匹配与定位.仪器仪表学报,2011,32(1):163-169.
- Lowe DG. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision. 2004,60(2):91-110.