

计算机应用研究 优先出版

原创性 时效性 就是科研成果的生命力
《计算机应用研究》编辑部致力于高效的编排
为的就是将您的成果以最快的速度
呈现于世

* 数字优先出版可将您的文章提前 10~12 个月发布于中国知网和万方数据等在线平台

基于 ROS 与 Kinect 的移动机器人同时定位与地图构建

作者	王权, 胡越黎, 张贺
机构	上海大学 机电工程与自动化学院; 上海大学 微电子研究与开发中心; 上海市电站自动化技术重点实验室
发表期刊	《计算机应用研究》
预排期卷	2017 年第 34 卷第 10 期
访问地址	http://www.arocmag.com/article/02-2017-10-013.html
发布日期	2016-10-12 18:04:35
引用格式	王权, 胡越黎, 张贺. 基于 ROS 与 Kinect 的移动机器人同时定位与地图构建[J/OL]. [2016-10-12]. http://www.arocmag.com/article/02-2017-10-013.html .
摘要	同时定位与地图构建(SLAM)技术一直以来都是移动机器人实现自主导航和避障的核心问题。由于传统的 1D 和 2D 传感器, 如超声波传感器、声呐和激光测距仪等在建图过程中无法检测出 Z 轴(垂直方向)上的信息, 易增加机器人发生碰撞的概率, 同时影响建图结果的精确度。为了弥补了前人研究中仅采用的 2D 激光数据的不足, 针对 Kinect 三维数据转化进行了研究, 将其采集到的水平视角和垂直视角上的信息相互融合转化成二维的激光数据进行地图构建。借助机器人操作系统(robot operating system,ROS)进行仿真…
关键词	移动机器人, Kinect, 同时定位与地图构建, 机器人操作系统
中图分类号	TP391.4
基金项目	

基于 ROS 与 Kinect 的移动机器人同时定位与地图构建

王 权^{1a, 2}, 胡越黎^{1a, 1b, 2}, 张 贺^{1a, 2}

(1. 上海大学 a. 机电工程与自动化学院; b. 微电子研究与开发中心, 上海 200072; 2. 上海市电站自动化技术重点实验室, 上海, 200072)

摘 要: 同时定位与地图构建(SLAM)技术一直以来都是移动机器人实现自主导航和避障的核心问题。由于传统的 1D 和 2D 传感器, 如超声波传感器、声呐和激光测距仪等在建图过程中无法检测出 Z 轴(垂直方向)上的信息, 易增加机器人发生碰撞的概率, 同时影响建图结果的精确度。为了弥补了前人研究中仅采用的 2D 激光数据的不足, 针对 Kinect 三维数据转换进行了研究, 将其采集到的水平视角和垂直视角上的信息相互融合转换成二维的激光数据进行地图构建。借助机器人操作系统(robot operating system, ROS)进行仿真分析和实际测试, 结果表明 Kinect 可以弥补 1D 和 2D 传感器采集信息的不足, 同时能够较好的提升建图的完整性和可靠性, 适用于室内的移动机器人 SLAM 实现。

关键词: 移动机器人; Kinect; 同时定位与地图构建; 机器人操作系统

中图分类号: TP391.4

Mobile robot simultaneous localization and mapping based on ROS and Kinect

Wang Quan^{1a, 2}, Hu Yueli^{1a, 1b, 2}, Zhang He^{1a, 2}

(1. a. School of Mechatronic Engineering & Automation, b. Microelectronic Research & Development Center, Shanghai University, Shanghai 200072, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Power Station Automation Technology, Shanghai 200072, China)

Abstract: Simultaneous localization and mapping (SLAM) has always been the key technology to achieve mobile robot autonomous navigation and obstacle avoidance. Traditional 1D and 2D sensors such as ultrasonic sensor, sonar and laser range finder for area mapping is not precise. Because, they can not detect information in vertical direction, it is likely to increase the probability of robot collision and inaccurate mapping. To compensate for the lack of 2D laser data in previous studies, this paper presented a method which collected 3D information from Kinect merge into 2D laser data. With the help of robot operating system (ROS) simulation analysis and practical tests are verified. The results shows that Kinect can make up the lack of 1D and 2D sensor to collect information and it can also promote the integrity and reliability of the mapping, Kinect is suitable for mobile robot SLAM indoor realization.

Key Words: mobile robot; Kinect; SLAM; robot operating system

0 引言

近年来, 移动机器人自主导航技术逐渐成为机器人相关领域的一个研究热点, 其中同时定位与地图构建(SLAM)技术是实现机器人自主导航的关键技术之一。尽管在此领域已经有过相当多的研究, 但 SLAM 技术的各种挑战和问题依旧存在。机器人导航技术用来实现一个机器人或一个系统从初始点移动到目标点的过程^[1]。这个问题看似简单直接但实际上由于传感器噪声, 控制噪声以及环境复杂度等因素存在, 导致导航过程实现起来极为复杂。

GPS 广泛用于机器人定位技术, 因为 GPS 可以直接提供机

器人在地球上的坐标位置, 然而实践表明 GPS 在室内定位时误差较大而且卫星信号微弱。针对室内环境而言, SLAM 技术已经成为研究热点和重点。SLAM 的主要思想是将机器人单独放置在一个未知环境内, 让它在移动过程当中建立一个与周围环境一致的地图^[2]。针对 SLAM 的实现过程, 研究者们提出了许多算法, 如卡尔曼滤波、扩展卡尔曼滤波、粒子滤波、Fsat SLAM 等^[3-5], 绝大多数的算法都是基于里程计和二维传感器来实现机器人 SLAM^[13]。

传统的 1D 和 2D 传感器在机器人建图过程当中容易忽略某些障碍物的存在, 甚至在机器人定位过程中产生较大误差。如图 1 所示, 在该情况下机器人容易错误的判断障碍物的位置,

对于障碍物 1 机器人未能检测到。2D 传感器只能够探测到障碍物的一部分而不能检测出障碍物整体的构造,极易导致机器人发生碰撞。由于 3D 传感器能够较为完整的探测出障碍物的整体形状,可以很好的弥补 2D 传感器的局限性。微软在 2010 年发布的 3D 传感器 Kinect 是目前最为流行的 3D 传感器之一,而且其价格相比于传统的激光雷达传感器更为低廉,因此较为适用于实现机器人 SLAM。

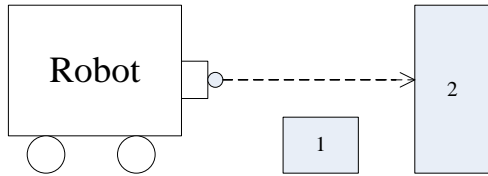


图 1 1D 或 2D 传感器障碍物检测

本文首先介绍了 Kinect 作为移动机器人传感器的可行性,提出了将 Kinect 的 3D 深度信息融合转换成 2D 激光信息进行机器人 SLAM 的实施方案。最后,基于机器人操作系统(ROS)进行了仿真平台上的验证以及实地场景下及机器人 SLAM 验证。

1 Kinect 简介及信息融合

1.1 工作原理

Kinect 外观如图 2 所示,可见光传感器用来采集彩色图像数据,深度传感器包括红外发射器和红外深度感应器,由红外发射器发射红外光斑,感应器接收反射回来的红外光进行深度信息的提取^[4]。



图 2 Kinect 外观及传感器分布

1.2 3D 信息融合转换成 2D 激光信息

在之前的研究中利用 Kinect 作为机器人 2DSLAM 的传感器^[2, 11, 12, 16],都忽略了 Kinect 在 3 维空间上采集信息的丰富性,仅仅只将其水平面上采集到的信息转换为 2D 激光信息,而未将其垂直平面上的信息考虑其中。在此情况下, Kinect 只能作为替换 2D 激光传感器的作用,并未将其 3D 有效信息融合进行考虑。

本文提出了一种新的转换方式,将 Kinect 采集到的垂直平面上的信息有效融合在 3D 信息转换成 2D 激光信息中。Kinect 首先从环境中收集初始的数据转换成真实的深度信息,然后 X 和 Y 坐标轴上对应每个像素的深度(即 z 轴)可由式 1 和 2 来计算:

$$X_{i,j} = (j - \frac{w}{2}) \times \frac{320}{w} \times M \times Z_{i,j} \quad (1)$$

$$Y_{i,j} = (i - \frac{h}{2}) \times \frac{240}{h} \times M \times Z_{i,j} \quad (2)$$

其中 i 和 j 分别是 Z 阵列中像素的行和列的数值, w 和 h 分别是 Z 阵列的宽度和高度, M 为 NUI 相机深度图像的骨架倍增常数^[11]。为了将深度信息转换成 2D 激光数据, Z 阵列中每一列的最小元素被当做成该列的标识数据:

$$Z'_j = \min(Z_{0,j}, Z_{1,j}, Z_{2,j}, \dots, Z_{479,j}) \quad (3)$$

由 3 式可知, Z' 阵列包含了 Z 轴上每次水平扫描中的最近障碍物,采用几何方法, Z 轴以及对应的 X 轴可以转换成激光扫描仪下的极坐标。

1.3 Kinect 与激光传感器对比

Kinect 的深度传感器可以采集 640×480 像素大小的深度图,该传感器的视野范围为水平方向 57° 垂直方向 43° 。传感器的最优工作范围区间为 0.8 到 3.5 米,在传感器 2m 范围内,深度传感器能够提供 1cm 的深度分辨率,以及 3mm 的空间 x/y 分辨率,最大的稳定转移帧率为 30HZ。

表 1 列出了 Kinect 传感器与一般激光扫描传感器之间格参数比较:

表 1 Kinect 与一般激光传感器参数对比		
比较项目	Kinect	2D 激光扫描仪
工作范围(m)	0.8-3.5	0-250
水平视角(o)	57	180-360
垂直视角(o)	43	-
测量点数	307200	最大 6000
市场价格(USD)	150	1000-15000

从表 1 中可以看出,激光扫描仪在工作范围和水平视角方面远远优于 Kinect,但 Kinect 的优势在于提供一个额外的维度,并且其价格相对低廉^[12]。作为机器人导航传感器, Kinect 能在一个相对快速的采用周期内提供 3D 视图信息,这对机器人在一个充满各种形状大小障碍物的实际场景中实现 SLAM 和准确避障提供了有力的保障^[15]。

2 基于 ROS 的 Kinect 应用

2.1 ROS 简介

机器人操作系统(ROS)是一个机器人软件操作平台,前身由斯坦福大学(Stanford Artificial Intelligence Laboratory)所研发。它提供一些标准操作系统服务,目前主要支持 Ubuntu 操作系统^[6]。ROS 可分为两层,低层是操作系统层,高层是实现不同功能的软件包。

ROS 框架中包含许多相对应的节点、数据包、堆栈以及评估工具,评估工具用来识别 topic 发布的内容,并判断其通过节点还是 theme。图 3 展示了不同节点之间通信的流程,rostopic 作为 ROS 最基本的构成之一,允许一个命令行客户端查看关于某个主题不断发布的消息。

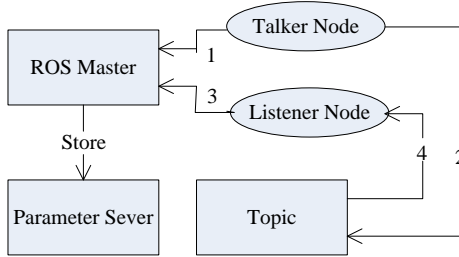


图 3 ROS 不同节点之间的通信流程

2.2 ROS 中 Kinect 应用

为了能在 ROS 中清楚的看到 Kinect 与 2D 激光传感器在机器人 SLAM 及避障中的区别所在，基于 ROS 中的三维模拟器 Gazebo 搭建了相关实地场景,如图 4 所示:

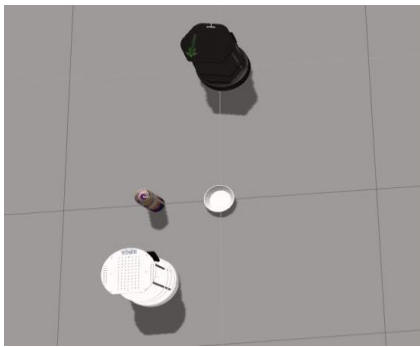
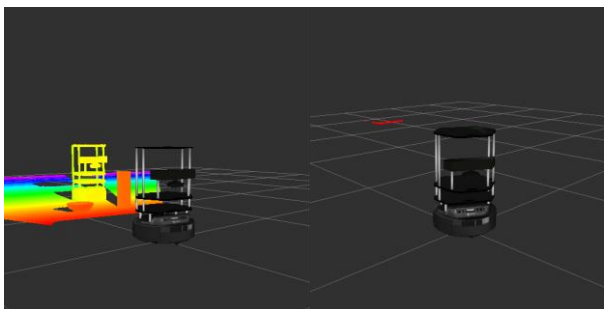


图 4 Gazebo 下简单避障场景

图中黑色机器人为实验主体机器人，配备有 Kinect，白色为参考障碍物，高度与主题机器人一致，其余两个较小的障碍物高度均不到 Kinect 高度位置。分别将机器人传感器设置为 Kinect 和 2D 激光传感器 Hoyuko，观察两种情况下机器人所观测到的障碍物信息如图 5 所示:



(a)Kinect 传感器观测视野 (b)Hoyuko 传感器观测视野

图 5 Gazebo 下简单避障场景

从图 5 中可以清楚的看出，Kinect 能检测到高度较低的障碍物存在，而 Hoyuko 则只能检测出高度不低于传感器所在位置的障碍物，大大增加了机器人发生碰撞的概率。

3 2D SLAM 算法

本文中主要用到了两种使用较为广泛的 2D SLAM 算法 Gmapping 算法和 Hector SLAM 算法来验证不同传感器情况下 SLAM 和避障的差异。下面简单介绍两种 SLAM 算法的基本原理。

3.1 Gmapping

Gmapping 算法是基于 Rao-Blackwellized 粒子滤波器(RBPF)^[7]。RBPF 的提出是用于解决基于栅格地图的 SLAM 问题，该方法需要结合里程计信息以及传感器扫描信息。RBPF 的主要思想是在给定机器人观测信息 $z_{1:t} = z_1, \dots, z_t$ 和里程计数据

$u_{1:t} = u_1, \dots, u_{t-1}$ 来估计机器人的运行轨迹 $x_{1:t} = x_1, \dots, x_t$

和周围环境地图 m 。联合概率分布可表示为

$p(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t-1})$ 进一步可以因式分解为(4):

$$p(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t-1}) = p(m | x_{1:t}, z_{1:t}) \bullet p(x_{1:t} | z_{1:t}, u_{1:t-1}) \quad (4)$$

因式分解后整个问题可以简化成两个步骤，机器人的轨迹可由里程计数据以及传感器观测信息求解，然后由已知的机器人轨迹以及传感器信息可以求出地图^[9]。

RBPF 利用粒子滤波器来估计后验概率 $p(x_{1:t} | z_{1:t}, u_{1:t-1})$ ，每个粒子代表机器人一种潜在的运动轨迹，随着机器人不断运动，粒子不断迭代，高权重的粒子将被保留而的权重的粒子会被舍弃^[10]。重采样过程中，设定重采样的自适应阈值 N_{eff} ，该阈值表明粒子集与机器人轨迹的契合程度。 N_{eff} 可由式(5)进行计算:

$$N_{eff} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N (\varpi^{(i)})^2} \quad (5)$$

其中 $\varpi^{(i)}$ 为粒子 i 的归一化权重，式(5)表明每当 N_{eff} 的值小于粒子总数的一半 ($N/2$) 时就进行重采样步骤。在保持正确建图的同时能够减少粒子枯竭的风险^[14]。

3.2 Hector SLAM

Hector SLAM 是一个开源的实现机器人 SLAM 的算法，该算法基于激光扫描仪对周围信息的获取从而建立周围环境的栅格地图^[8]。相比较于其他的栅格地图 SLAM 算法，Hector SLAM 不需要里程计的数据信息，机器人的位姿信息仅由扫描匹配过程得到。利用现代激光雷达传感器的高更新频率和信息获取的准确性来进行扫描匹配，同时利用已知地图对激光束进行优化处理，估计激光束在地图的表示信息，同时推算其占据网格的概率。

Hector SLAM 算法中扫描匹配过程应用高斯牛顿的方法进行求解，能够较为快速的得到机器人准确的位姿转换信息。由于其不需要里程计信息，因此 Hector SLAM 也成功的运用于无人机以及不平坦路面上行进的小车。

4 仿真与实验

为了验证 Kinect 和 2D 激光扫描仪作为机器人传感器在建图和避障中展示的不同效果, 本文基于 ROS 仿真平台 Gazebo 进行了仿真验证, 同时在真实的实验场地进行了实际测试。

4.1 仿真测试

基于 ROS Gazebo 平台搭建了 $6\text{m}\times 6\text{m}$ 的虚拟封闭场景如图 6 所示。图中较小圆柱形障碍物高度设置为 20cm , 较大障碍物高度设置为 50cm , 机器人传感器位置的高度设置为 40cm 。

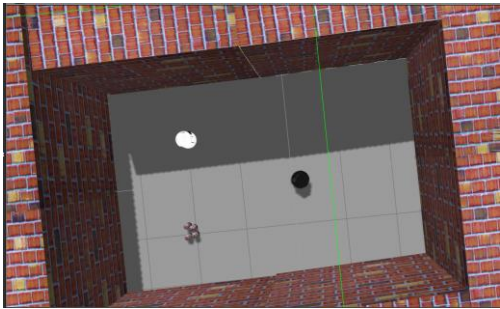
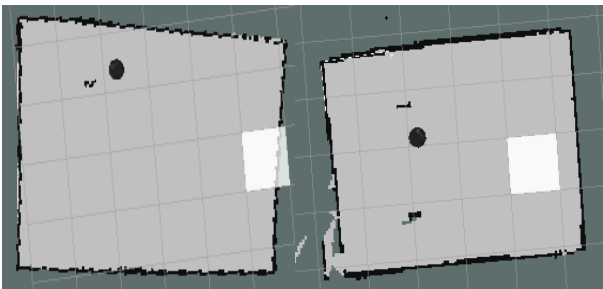


图 6 ROS Gazebo 下虚拟场景

图 6 中黑色机器人为实验主体机器人, 利用键盘控制机器人在场景中自由行走, 机器人在行走的过程当中完成同时定位与地图构建过程。实验中调用 Gmapping 算法分别对传感器为 Kinect 和 Hoyuko 情况下的机器人建图效果进行了比较, 结果如图 7 所示:



(a) Hoyuko 传感器建图效果 (b) Kinect 传感器建图效果

图 7 Gmapping 算法下建图效果

图 7 中可以看出 Hoyuko 传感器在建图过程当中无法检测到高度较低的障碍物, 从而将其默认为空旷区域, 建图结果的误差大信息不完整。而 Kinect 在建图过程当中能够较好的检测低于自身高度的障碍物, 有效的保存了地图的完整性, 体现了 Kinect 作为 3D 传感器的优越性。

4.2 真实场景 SLAM 结果测试

为了进一步验证 Kinect 作为机器人传感器在真实场景中建图效果, 本文在上海大学延长校区电机楼 317 室房间内部及其外部走廊利用搭载 Kinect 作为传感器的 Turtlebot 机器人进行了实地的 SLAM 测试, 机器人实体如图 8 所示。

其中实验所用电脑配置为 Intel Core i3 处理器, 主频 2.13GHz , 2G 内存, 32 位操作系统。分别利用 Gmapping 算法及 Hector SLAM 算法对实验室内外部走廊进行了实地建图, 最终的结果如图 9 所示。

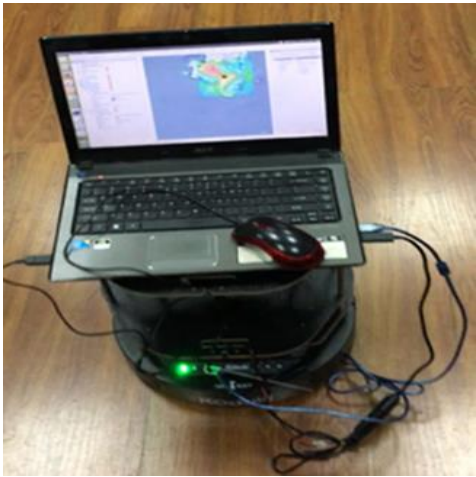
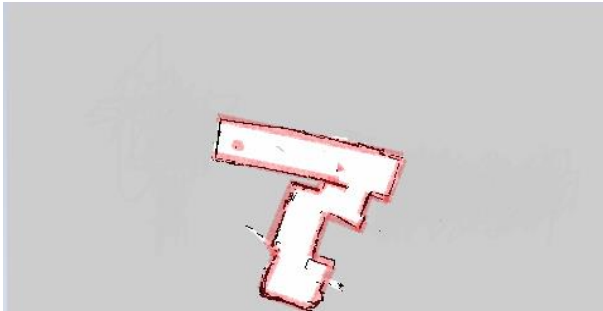
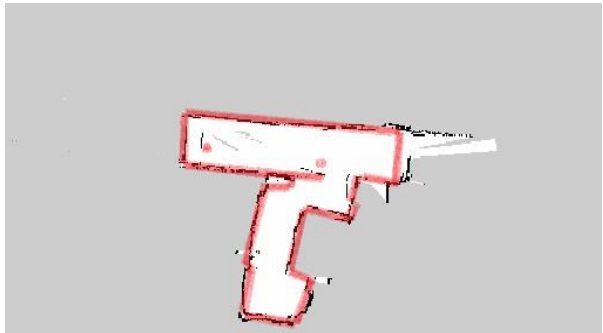


图 8 实验所用机器人 Turtlebot



(a) Gmapping 算法建图效果



(b) Hector SLAM 算法建图效果

图 9 不同算法下实地建图效果比较(红色外围线表示 Ground Truth)

从图 9 中可以看出, 当 Kincet 作为机器人传感器时, 在 Gmapping 算法下的建图效果较为完整和清晰。相比较而言在 Hector SLAM 算法下建图结果稍显欠缺, 这是由于 Hector SLAM 对传感器扫描频率要求更高, Kinct 的扫描频率相较于激光传感器而言不够迅速, 因而在 Hector SLAM 算法下的建图效果有待改进。

Kincet 在 Gmapping 算法下建图效果的完整性和实用性经验证已经达到了基本的机器人导航要求, 并且能够检测出垂直方向上的细小障碍物。因此利用 Kincet 传感器代替 2D 激光扫描仪作为移动机器人的 SLAM 传感器是可行的, Kinect 在保持三维场景信息融合的基础上同时大幅降低了传感器的成本, 为今后的机器人 SLAM 传感器的选取提供了新的参考方向。

5 结束语

在传统机器人 SLAM 所用激光传感器基础上提出一种

Kinect 信息融合方法。该方法将 Kinect 所采取到的 3D 信息融合转换成 2D 激光信息,同时能够检测到 2D 激光传感器所检测不到的矮小障碍物信息。利用 ROS 中的 Gazebo 平台对不同传感器下的 SLAM 建图效果进行了对比,结果表明 Kinect 在障碍物信息获取上较 2D 激光传感器更为有效。

在实际场景中利用 Turtlebot 机器人平台进行了 Kinect 传感器下的真实场景 SLAM,结果表明利用本文提出的 Kinect3D 信息融合转换法能够融合垂直方向上的信息,最终使得所构建的地图更为完整和清晰。

参考文献

- [1] Thrun S, Leonard J J. Simultaneous localization and mapping [M]//Springer Handbook of Robotics. Berlin: Springer-Verlag, 2008: 871-889
- [2] Schindhelm C K. Evaluating SLAM approaches for Microsoft
- [3] Kinect[C]//Proc of the 8th International Conference on Wireless and Mobile Communications. 2012: 402-407
- [4] Montemerlo M, Thrun S. FastSLAM: A Scalable method for the simultaneous localization and mapping problem in robotics [M]. Berlin : Springer, 2007: 63-90.
- [5] Introducing Kinect for Xbox 360 [EB/OL]. 2012. <http://www.xbox.com/en-US/kinect>.
- [6] Asaid E, Bozory M. A decentralized architecture for simultaneous localization and mapping[J]. IEEE/ASNE Trans on Mechatronics. 2009. 14 (1) : 64-71
- [8] 张建伟, 张立伟, 胡颖, 等. 开源机器人操作系统: ROS [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [9] Grisetti G, Stachniss C, Burgard W. Improved techniques for grid mapping with Rao-Blackwellized particle filters[J]. IEEE Trans on Robotics, 2007, 23(1) : 34-46. .
- [10] Kohlbrecher S, Von Stryk O, Meyer J, *et al*. A flexible and scalable SLAM system with full 3D motion estimation//Proc of IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics. 2011: 155-160.
- [11] Zhao Zengshun, Feng Xiang, Lin Yuanyuan, *et al*. Improved Rao-Blackwellized particle filter by particle swarm optimization [J]. Journal of Applied Mathematics, 2013: 302170.
- [12] Thrun S, Burgard W, Fox D. Probabilistic robotics [M]. Cambridge: MIT Press, 2005.
- [13] Newcomb R, Davis10n A, Izad1 S. KinectFusion: real-time dense surface mapping and tracking//Proc of IEEE ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. 2011: 127-136.
- [14] 陈晓明, 蒋乐天, 应忍冬. 基于 Kinect 深度信息的实时三维重建和滤波算法研究[J]. 计算机应用研究, 2013 30(4): 1216-1218
- [15] 王开宇, 夏桂华, 朱齐丹, 等. 基于 EKF 的全景视觉机器人 SLAM 算法[J]. 计算机应用研究, 2013 30(11): 3320-3323
- [16] 张毅, 程铁凤, 罗元, 等. 鲁棒的机器人粒子滤波即时定位与地图构建的实现[J]. 计算机应用研究, 2015 32(8): 2339-2342
- [17] Chang Yachun, Kuwabara H, *et al*. Novel application of a laser range finder with vision system for wheeled mobile robot//Proc of International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2008: 280-285.
- [18] Olive A, Kang S, Nsche B C, *et al*. Using the Kinect as a navigation sensor for mobile robotics//Proc of Conference on Image & Vision Computing. 2012: 509-514