

智能社区下基于 RTK 技术的室外机器人 定位导航方法

桑 森

(山东大学 控制科学与工程学院, 济南 250061)

[摘 要] 在智能社区环境下,借助 Google 二维地图,采用模式匹配将地图中机器人活动范围部分转换为栅格地图,利用实时动态载波相位差分技术对机器人进行定位,然后采用对应比例将定位坐标与栅格地图坐标信息进行转换,实现机器人在栅格地图上的定位,以达到对机器人定位导航的目的;为保障机器人安全巡逻,采用倾斜向下安装的激光检测一个倾斜面,兼顾机器人前方与激光位置下方区域,获得更好的检测效果。通过实验验证:经过转换的二维地图与采用实时动态载波相位差分技术的定位误差在可接受范围,且机器人能顺利的实时避障,试验验证了该方法的可行性。

[关键词] 栅格地图;实时动态载波相位差分技术;坐标转换;激光避障

[中图分类号] TP 242 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0310(2014)02-0073-06

Outdoor Robot Location and Navigation Based on RTK in Intelligence Community

SANG Sen

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: In the intelligence community, with the help of two-dimensional map of Google, the range of activities of robot will be converted to a grid map in pattern matching. The robot is locating by means of the Real-time dynamic carrier phase difference technology. Then we use the corresponding proportion of the positioning coordinates and coordinate information of grid map for conversion. So we can achieve the positioning of the robot on the grid map, to achieve the goal of navigation and positioning of the robot. To ensure the security of robot patrols, we install the laser sensor in tilt downward orientation to detect an inclined plane, taking into account the front and the lower area of laser sensor on the robot to get better detection effect. Through experimental to prove: After converting two-dimensional maps and the Real-time dynamic carrier phase difference technology, the error of positioning is in the acceptable range, and the obstacle can be avoided in a smooth real-time. The actual test has verified the feasibility of the method.

Key words: Grid map; The Real-time dynamic carrier phase difference technology; Coordinate conversion; Obstacle avoidance based on laser

[收稿日期] 2014-01-08

[作者简介] 桑森(1987—),男,山东潍坊人,山东大学控制科学与工程学院硕士研究生,研究方向为嵌入式硬件和软件研发。

0 引言

随着服务机器人技术的迅速发展,其应用也逐渐扩展到各个领域,目前机器人已经能够为人们完成一定的家居任务,但是为了实现人们对机器人更高的要求,从室内走向室外已经变成服务机器人发展的必然趋势。初步成熟的室内机器人定位导航技术由于室外环境的复杂性、多变性等原因无法移植到室外导航中。室外服务机器人导航需要高度的自规划、自组织和自适应技术,室外机器人必须适应复杂的非结构化的环境。由于众多问题的影响,目前机器人在室外还无法自主地完成自动巡航、精确自定位以及对用户提供服务,所以,依托于智能空间^[1](智能社区)技术为室外机器人提供大量精确的控制信息来服务机器人工作已成为近期研究的热点。

智能空间技术的发展为在其中运行的各种智能设备提供了精确的辅助信息和规划任务,智能空间技术的加入使机器人能够脱下各类沉重的检测传感器“轻装上阵”,更侧重于服务装置的安装和使用,进一步提高了执行的效率和速度,延长了服务机器人的执行时间。就目前智能空间机器人的发展现状,该技术目前大多仅局限于室内的应用,而室外几乎是一片空白。例如山东大学的智能空间家庭服务机器人、东南大学的智能交互空间、清华大学的智能教室等,都是机器人或智能设备在室内借助于智能空间技术来为人们服务。为此,本文提出依托于智能社区下的智能空间技术,借助 Google 二维地图,采用模式匹配将地图中机器人的活动范围部分转换为栅格地图^[2],利用实时动态载波相位差分技术对机器人进行定位,然后在服务器端采用数据融合技术将定位坐标与栅格地图坐标信息进行转换,实现机器人在栅格地图上的定位,以达到辅助机器人自主定位导航的目标。为保障机器人安全巡逻实时避障,采用倾斜向下安装的激光检测一个倾斜面,兼顾机器人前方与激光位置下方区域,获得更好的检测和避障效果。

1 基于 RTK 技术的机器人精确定位

实时动态(RTK)定位技术是以载波相位观测值为根据的实时差分 GPS 技术,是 GPS 测量技术发展的一个新突破,RTK 技术是建立在实时处理两个测站的载波相位基础上的,它能实时提供观测点

的三维坐标,并达到厘米级的高精度。与传统的 GPS 技术相比,在一般地形下,作业效率高、高质量的 RTK 设站一次即可测完 5 km 半径的测区,大大减少了传统测量 GPS 所需的控制点数量和测量仪器的“搬站”次数,而且只要满足 RTK 的基本工作条件,它的定位精度高,没有误差积累;作业自动化、集成化程度高,它的出现为工程放样、地形测图、各种控制测量带来了新曙光,极大地提高了外业作业效率。本文借鉴 RTK 技术的高精确定位技术实现了室外服务机器人的定位导航。

在智能社区中配备 RTK 系统为各个室外设备提供定位服务。首先,RTK 系统由一个基站和若干个流动站组成。基站包括 GPS 接收机、GPS 天线、通讯发射系统、设备电源和控制器等^[3];流动站主要由 GPS 接收机、GPS 天线、对中杆、通讯发射系统、设备电源和控制器组成。在 RTK 作业模式下,在已知高等级点上(基准站)安置 1 台接收机为参考站,对 GPS 卫星进行连续观测,并将观测数据和基站信息通过无线传输设备实时地发送给智能空间服务器,流动站 GPS 接收机在接收 GPS 卫星信号和采集卫星数据的同时也通过无线传输设备实时地发送给智能空间服务器,服务器通过无线接收设备接收来自基准站和流动站的数据链,并在系统内对采集和接收的两组数据进行载波相位差分处理,实时计算出流动站的三维坐标及其精度(即基准站和流动站坐标差 Δx 、 Δy 、 ΔH ,加上基准坐标得到的每个点的 WGS-84 坐标,通过坐标转换参数得出流动站每个点的平面坐标 x 、 y 和海拔高 $HL2$)。最后根据经纬度获得机器人的位置以及当前位置下方圆 200 m 的二维地图。因此,使用 RTK 技术的关键在于根据 GPS 的载波相位观测量,并利用基准站和流动站之间观测误差的空间相关性,通过差分的方式除去流动站观测数据中的大部分误差,从而实现高精度(分米甚至厘米级)定位。

星站间的相位差值由 3 部分组成:

$$\Phi_i^j = N_i^j(t_0) + N_i^j(t - t_0) + \delta\varphi_i^j, \quad (1)$$

式中, $N_i^j(t_0)$ 为起始整周模糊度, $N_i^j(t - t_0)$ 为从起始时刻至观测时刻的整周变化值, $\delta\varphi_i^j$ 为观测相位的小数部分,则星站间距离为载波波长与星站相位差的乘积,即:

$$\tilde{\rho}_i^j = \lambda(N_i^j(t_0) + N_i^j(t - t_0) + \delta\varphi_i^j)。 \quad (2)$$

若在基准站利用已知坐标和卫星星历可求得星站间的真实距离 ρ_i^j ,星站间伪距观测值则可表示为:

$$\tilde{\rho}_i^j = \rho_i^j + c(\delta t_i - \delta t_j) + \delta I_i^j + \delta T_i^j + \delta M_i + V_i, \quad (3)$$

公式中 δM_i 为多路径效应, V_i 为 GPS 接收机噪声。在基准站可求出伪距改正数:

$$\delta \rho_i^j = \tilde{\rho}_i^j - \rho_i^j = c(\delta t_i - \delta t_j) + \delta I_i^j + \delta T_i^j + \delta M_i + V_i, \quad (4)$$

用此改正数对用户站伪距观测值进行修正:

$$\tilde{\rho}_k^j - \delta \rho_i^j = \rho_k^j + c(\delta t_k - \delta t_i) + (\delta I_k^j + \delta I_i^j) + (\delta T_k^j - \delta T_i^j) + (\delta M_k - \delta M_i) + (V_k - V_i). \quad (5)$$

由于本文中基准站和用户站之间的距离小于 30 km, 可认为 $\delta I_k^j = \delta I_i^j$, $\delta T_k^j = \delta T_i^j$, 则:

$$\begin{aligned} \tilde{\rho}_k^j - \delta \rho_i^j &= \rho_k^j + c(\delta t_k - \delta t_i) + (\delta M_k - \delta M_i) + (V_k - V_i) = \\ &= \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2} + \Delta \delta \rho, \end{aligned} \quad (6)$$

式中, $\Delta \delta \rho = c(\delta t_k - \delta t_i) + (\delta M_k - \delta M_i) + (V_k - V_i)$ 。

将载波相位伪距观测值(2)代入上式, 则可得:

$$\begin{aligned} \tilde{\rho}_k^j - \delta \rho_i^j &= \tilde{\rho}_k^j - \tilde{\rho}_i^j + \rho_i^j = \rho_i^j + \lambda(N_k^j(t_0) - N_i^j(t_0)) + \lambda(N_k^j(t - t_0) - N_i^j(t - t_0)) + \\ &= \lambda(\delta \varphi_k^j - \delta \varphi_i^j) = \\ &= \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2} + \Delta \delta \rho, \end{aligned} \quad (7)$$

上式中, 令 $N^j(t_0) = N_k^j(t_0) - N_i^j(t_0)$ 为起始整周数之差, 在观测过程中若卫星跟踪不失锁, $N^j(t_0)$ 即为常数, 令载波相位测量差值: $\Delta \varphi = \lambda(N_k^j(t - t_0) - N_i^j(t - t_0)) + \lambda(\delta \varphi_k^j - \delta \varphi_i^j)$, (7) 式可表示为:

$$\begin{aligned} \rho_i^j + \lambda N^j(t_0) + \Delta \varphi &= \\ &= \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2} + \Delta \delta \rho \\ \text{或} \quad \rho_i^j + \Delta \varphi &= \\ &= \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2} - \\ &= \lambda N^j(t_0) + \Delta \delta \rho, \end{aligned} \quad (8)$$

公式中的未知数 $N^j(t_0)$ 、 X_k 、 Y_k 、 Z_k 及 $\Delta \varphi$ 中除 $\Delta \varphi$ 外, 其余均为常数。

由于 RTK 技术的公式计算量较大^[4], 本文提出将所有的计算数据通过无线传输的方式回传到智能空间, 由智能空间中的服务器完成。这样既加快了信息处理速度, 又可以使机器人更快地获得精确数据。根据上述的计算, 可获得机器人所处的精确位置坐标以及其原始经纬度坐标。下文将根据经纬度坐标获取机器人所处的二维 Google 地图。

2 二维地图与栅格地图的转换

由于 GPS 卫星星历目前多采用 WGS-84 坐标系, 因此, 本文中采用的 GPS 接收机观测站输出数据均采用 WGS-84 坐标系的地心坐标。它可以输出 WGS-84 大地坐标系下大地坐标 (B, L, H), 该坐标系就是经纬度信息并与 Google 地图经纬度信息相统一。

通过 GPS 定位获得的经纬度信息, 首先采用 Google 地图所提供的 API 函数将获得该经纬度下的二维地图。根据上述信息智能社区服务器将获得机器人附近一定范围的二维地图, 如图 1 所示。

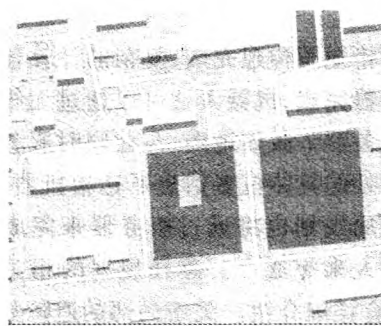


图 1 机器人附近二维地图

Fig. 1 Two-dimensional map near the robot

其中, 图 1 显示济南市经十路山东大学千佛山校区北苑全地图, 由于 Google 二维地图的特殊属性, 采用图像处理技术中的简单阈值分割 (cv::threshold 函数), 即获得二维地图所对应的二值化灰度图像, 如图 2 所示。

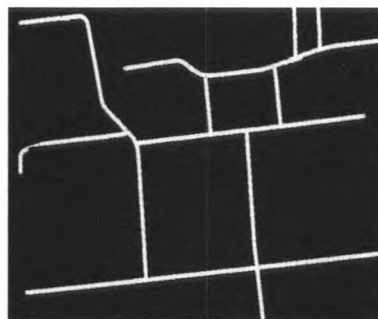


图 2 二值化灰度图像

Fig. 2 Gray image binarization

图中白色的线路为机器人可以行走的路径, 由于获得的二值图像比较简单, 道路显示较规则, 区域面积也适中, 所以, 文中采用精确度较高的栅格地图来表示真实地图信息。我们可以把一幅栅格图像考虑为一个矩阵, 矩阵中的任一元素对应于图像中的一个点, 而相应的值对应于该点的灰

度级。这种表示方式可以实现高精度的计算,因而可以实现高准确度的导航规划。栅格地图如图 3 所示。

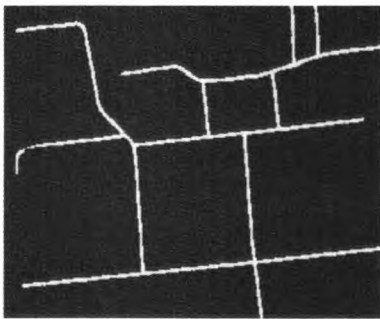


图 3 栅格地图
Fig.3 Grid map

当栅格地图构建完成,复杂的计算任务基本已经由服务器完成,机器人就可以通过无线方式从智能空间服务器下载该地图,与此同时服务器也会将机器人所处的具体位置信息下达给机器人。此外,路径的全局规划也将通过服务器来完成并下达命令至机器人来完成^[5]。路径规划的相关算法在文献[6]中有详细介绍。关于局部的避障与规划部分将依靠机器人本体传感器进行。

3 机器人基于本体激光的局部避障

本文将激光传感器倾斜向下放置,可以获得机器人前方低于激光安装位置的半个空间的障碍信息,放置位置如图 4 所示。

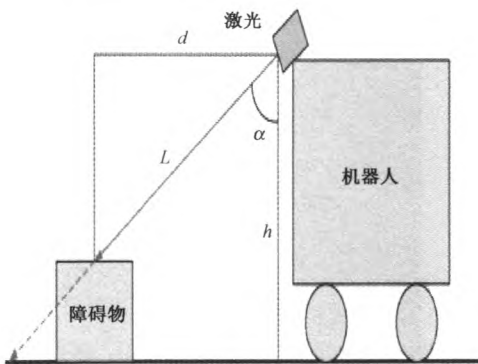


图 4 激光检测障碍物示意图
Fig.4 Schematic of laser detecting obstacles

机器人在路径跟踪过程中,必须实时探测前方是否存在障碍物,并及时规划出避障路径,使机器人安全通过。其中,实验用的激光传感器为 HOKUYO 公司产品 UTM-30LX 2D 型激光扫描测距仪,安装在机器人距离地面 30 cm 处,角度分辨率为 0.25°,具有高精度、高分辨率、宽视场等特点;激

光传感器获取机器人正前方 180°范围内的信息,为减少计算量,在不影响机器人完成避障的前提下,将此范围按照 5°的标准均分 36 个区域,按照逆时针方向定义这 36 个区域编号依次为 1~36,且将每个区域的中线位置作为候选方向,此区域激光束编号为 180~900,所以每个区域存在 20 条激光数据,选取最小的距离值作为本区域候选方向的距离值,即本区域的障碍信息,机器人据此进行方向评估和选择。根据发现障碍物时机器人与障碍物的距离,将机器人的避障层次划分为 3 层^[7],如图 5 所示。

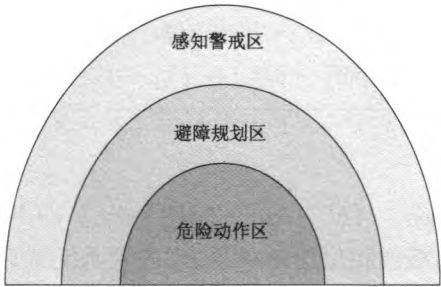


图 5 激光传感器检测的感知模型
Fig.5 Perceptual model of the laser sensor detection

1) 危险动作区。当激光传感器在危险动作区内检测到障碍物时,表明此障碍已经距离机器人很近,没有足够空间进行避障,此时机器人应根据障碍物相对位置,迅速采取制动或后退策略,这主要针对环境中突然出现障碍物等危险情况。

2) 避障规划区。当障碍物出现在避障规划区时,机器人根据自身尺寸及障碍物分布,通过一定的算法实时分析各个方向可通行的可能性,根据可能性大小选择最接近目标方向的安全方向。

3) 感知警戒区。处于最外层,感知环境信息,以备避障处理。经过大量多次实验,确定如表 1 所示的各层间的阈值。

表 1 障碍物各检测范围的阈值划分
Table 1 The obstacle detection range separated by a threshold

检测层次	阈值范围/m
感知警戒区	1.0~1.5
避障规划区	0.7~1.0
危险动作区	0.7~0.1

4 实验结果

4.1 机器人位置信息的误差测量

本研究通过对机器人实际位置与测量返回位

置的测量与仿真计算得出,实际测量位置如图 6 中黑色点处为实际坐标原点,而栅格地图中机器人的理论原点坐标也同样设置为该点。

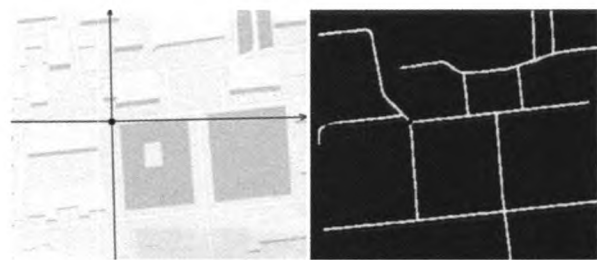


图 6 坐标表示
Fig.6 Coordinate representation

然后通过不间断地移动机器人位置,分别对两种坐标中的机器人位置做记录,进行比较,测量与比较结果如表 2 所示。

表 2 测量结果对比
Table 2 Comparative measurements

实际位置/m,m	测量位置/m,m
(0,0)	(0,0)
(15.56,0.70)	(15.47,0.66)
(30.0,3.5)	(30.23,3.47)
(31.2,10.6)	(31.25,10.55)
(28.5,25.6)	(28.51,25.48)

直线误差/m	移动距离/m	累计误差/m
0	0	0
0.098	18	0.098
0.052	36	0.052
0.071	47	0.071
0.12	60	0.12

通过测量结果的对比可知,该系统没有累积误差,在移动距离达到 50 m 以上的情况下,移动误差还可以达到 0.12 m,在 0.10 m 左右。此精度足以满足机器人在室外的路径规划与导航的实施。

4.2 机器人室外路径规划与运行对比

本实验在获得机器人的坐标信息与任务要求后,通过服务器对服务目标(该目标为装有 GPS 流动站的设备)定位,利用 A 星算法^[8]把最短路径规划出来,通过无线发给机器人,让它执行,见图 7 所示。机器人获得的路径规划任务是从最左侧黑点(0,0)开始执行,结束点为右上角白色线中黑色点的位置。机器人本体与服务器规划时间对比如表 3

所示。

表 3 机器人本体与服务器规划时间对比
Table 3 Robotics and server planning time comparison

	全局路径 规划/ms	任务下达 时间/ms	总消耗 时间/ms
机器人本体	456	10	466
服务器端	25	100	125

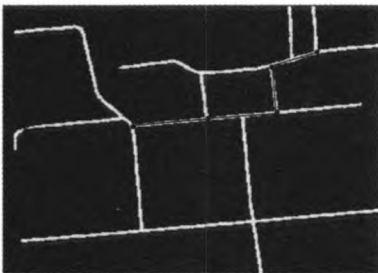


图 7 路径规划效果图
Fig.7 The path planning effect

通过图 7 中规划的路径可以看出,在全局范围内通过服务器的规划得到最近距离的行走路径,并且在相应的路口点给出局部任务点,为机器人本体避障与局部规划提供信息。实验结果表明:采用服务器替代机器人本体规划可以大大提高规划效率与精度。

4.3 室外激光避障

校园巡逻机器人对行人的避障效果如图 8 所示。本系统上位机采用的是联想 V360-ITH 型笔记本电脑,操作系统为 Windows XP,编程环境为 Microsoft Visual Studio 6.0,机器人根据障碍在各区分布选择不同的避障策略,图中黑色箭头实线长度代表各候选角度的障碍距离值,长度越小,障碍距离机器人越近,超过感知警戒区范围的在绘图时记作临界进入感知警戒区。机器人根据障碍在各区分布选择不同的避障策略,可以看出行人处于避障规划区,机器人不断计算最佳通行角度,最终完成避障。图 8 为避障编程界面及机器人实际避障效果图。

5 结束语

通过采用智能空间技术,将复杂繁重的计算任务交给具有超速计算能力的服务器来进行,加快了机器人以及其他设备的位置信息测量转换。采用 RTK 技术将移动机器人的位置精度提高到 0.10 m 级,足以满足小范围室外导航规划任务的需

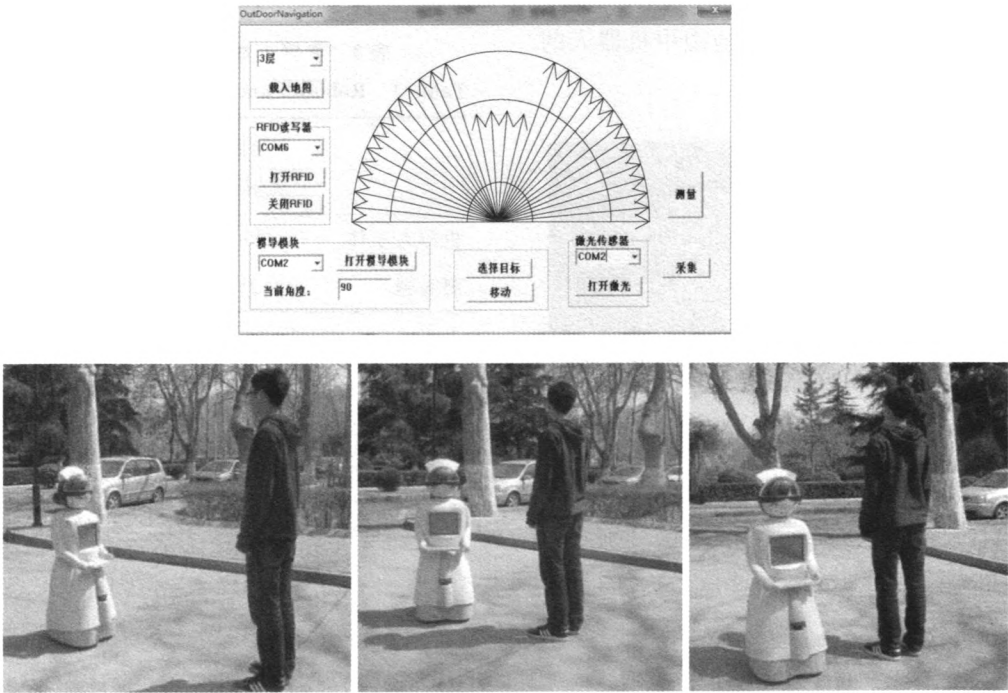


图 8 机器人避障效果图
Fig.8 Robot obstacle avoidance renderings

外,本文提出的基于 Google 二维地图的实时获取为下一步机器人区域无限制自由行走提供了地图构建的先例,并且采用激光倾斜放置的方法进行局部范围内室外独立避障,兼顾了机器人前方与激光位

置下方区域,获得更好的检测避障效果。本文研究人员接下来的工作主要解决二维地图的其他信息获取以及局部范围内室外准确避障等关键技术。

[参考文献]

[1] Yamaguchi T, Sato E, Takama Y. Intelligent space and human centered robotics [J]. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2003, 50(5) : 881 - 889.

[2] Li Jie. An overview of the simultaneous localization and mapping on mobile robot[C]// Modelling, Identification & Control (ICMIC), 2012 Proceedings of International Conference on IEEE, 2012.

[3] 郑毅. GPS 在移动机器人定位系统中的应用研究[D]. 南京:南京理工大学, 2011.

[4] 秦世伟,谷川,潘国荣. RTK-GPS 动态定位精度测试研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2008,28(5) : 65 - 67.

[5] Seung-Ho Baeg, Jae-Han Park, Jaehan Koh, et al. Building a smart home environment for service robots based on RFID and sensor networks[C]// Control, Automation and Systems, 2007. ICCAS07. International Conference on IEEE, 2007.

[6] 薛英花,田国会,吴皓,等. 智能空间中的服务机器人路径规划[J]. 智能系统学报,2010,5(3) : 260 - 265.

[7] 王家超. 医院病房巡视机器人定位与避障技术研究[D]. 济南:山东大学, 2012.

[8] 郭强. 基于改进的 A 星算法和 B 样条函数的仿生机器鱼路径规划研究[D]. 天津:天津大学,2012.

(责任编辑 李亚青)