

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4785.201301028

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20130929.1110.007.html>

## 采用 Kinect 的移动机器人目标跟踪与避障

贺超<sup>1,2</sup>, 刘华平<sup>2</sup>, 孙富春<sup>2</sup>, 夏路易<sup>1</sup>, 韩峥<sup>2</sup>

(1. 太原理工大学 信息工程学院, 山西 太原 030024; 2. 清华大学 智能技术与系统国家重点实验室, 北京 100084)

**摘 要:** 为实现移动机器人在目标跟踪的同时进行避障, 采用 Kinect 代替传统的测距雷达和摄像机. 针对 Kinect 在使用中存在盲区 and 噪声的问题, 提出一种基于统计的局部地图更新方法, 利用动态更新的局部地图保存可能影响机器人运动的障碍物信息, 并通过统计信息来消除测距噪声的影响, 确保障碍物信息的有效性. 同时使用增加安全区域的人工势场法去除对移动机器人运动无干扰的障碍物信息, 改善了传统人工势场法通过狭窄通道的能力. 在差动驱动移动机器人的实验证实了此系统能够很好地完成跟踪与避障任务. 结果表明, 使用 Kinect 可以代替传统测距传感器.

**关键词:** 移动机器人; Kinect; 人工势场; 避障; 目标跟踪

中图分类号: TP242.6 文献标志码: A 文章编号: 1673-4785(2013)05-0426-07

中文引用格式: 贺超, 刘华平, 孙富春, 等. 采用 Kinect 的移动机器人目标跟踪与避障[J]. 智能系统学报, 2013, 8(5): 426-432.

英文引用格式: HE Chao, LIU Huaping, SUN Fuchun, et al. Target tracking and obstacle avoidance of mobile robot using Kinect [J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2013, 8(5): 426-432.

## Target tracking and obstacle avoidance of mobile robot using Kinect

HE Chao<sup>1,2</sup>, LIU Huaping<sup>2</sup>, SUN Fuchun<sup>2</sup>, XIA Luyi<sup>1</sup>, HAN Zheng<sup>2</sup>

(1. College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China; 2. State Key Laboratory of Intelligent Technology and Systems, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** In order to get a better understanding of the obstacle avoidance of a mobile robot when it is tracking a target, we used Kinect to take the place of the traditional range radar and camera. Because of the existence of a blind area and noise when using Kinect, a kind of local map updating method based on statistical theory was proposed, through the utilization of a dynamically updated local map, the information of an obstacle possibly affecting the motion of the robot was maintained, in addition, by collecting information of statics, the influence of the range noise was eliminated, so to assure the validity of the obstacle information. Simultaneously, the artificial potential field method increasing the safe area was applied to remove the information of an obstacle not disturbing the motion of the robot, so as to improve the ability of the mobile robot to pass through a narrow passage by the traditional artificial potential field method. The experiment used on a mobile robot with differential drive shows that, this system may realize target tracking and obstacle avoidance in a proper manner; the Kinect may take the place of the traditional range sensor.

**Keywords:** mobile robot; Kinect; artificial potential field; obstacle avoidance; target tracking

超声与激光测距雷达是目前移动机器人获取环境信息的主要传感器, 很多的路径规划、地图绘制等工作都是使用这 2 种传感器完成. 然而超声波雷达获取的环境信息较为粗糙, 激光雷达虽然获取的信息丰富但是成本却很高. Kinect 是微软公司生产的

3-D 摄像机, 使用它可以同时获取环境光学图像以及光学图像上物体的位置信息, 其获取的信息量丰富并且成本低廉, 很适合应用于移动机器人的路径规划与目标跟踪等工作. 目前国内外学者对 Kinect 应用于移动机器人进行了一些研究工作, 文献[1]利用 Kinect 进行障碍物检测, 但是其 Kinect 的位置却是固定不变的; 文献[2]利用 Kinect 搭建了移动机器人目标跟踪系统, 但是没有考虑 Kinect 盲区对

收稿日期: 2013-01-21. 网络出版日期: 2013-09-29.  
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61075027).  
通信作者: 贺超. E-mail: tianhechao@sina.com.

信息获取的影响。

本文利用 Kinect 代替传统测距传感器,构建移动机器人目标跟踪与避障系统,利用基于统计的局部地图更新法解决了其在使用中存在的盲区问题和噪声问题。结合改进的人工势场避障算法<sup>[3-8]</sup>与基于颜色信息的粒子滤波目标跟踪算法<sup>[9-11]</sup>,在差动驱动的轮式移动机器人上实现了目标跟踪的同时进行动态避障。

## 1 移动机器人与 Kinect 简介

### 1.1 移动机器人运动学模型

目前使用的移动机器人多为轮式差动驱动,其在惯性坐标系下的运动学描述为

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \cos \theta \\ v \sin \theta \\ \omega \end{bmatrix}$$

式中:  $x, y$  为移动机器人在全局参考系下的坐标,  $\theta$  为移动机器人在全局参考系中的方向角,  $v$  为移动机器人直线移动速度,  $\omega$  为移动机器人转动的角速度。图1为移动机器人的惯性坐标系,其中  $X_r, Y_r$  确定了移动机器人的局部坐标系,  $X, Y$  确定了其世界坐标系。

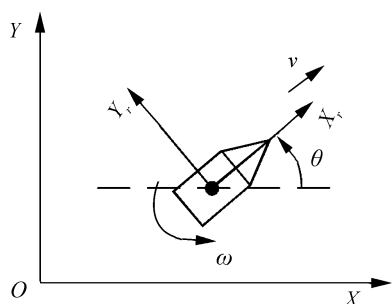


图1 移动机器人惯性坐标系

Fig.1 Inertial coordinate system of the mobile robot

根据移动机器人全局坐标系与局部坐标系的相应关系,可以将局部坐标系中的坐标转换为相对于全局坐标系的坐标。令坐标  $(x_l, y_l)$  为机器人局部坐标系的坐标,并且已知移动机器人在全局坐标系中的位置  $(x_c, y_c, \theta_c)$ ,那么其相对于机器人全局坐标系的坐标  $(x_g, y_g)$  可由式(1)计算:

$$\begin{cases} x_g = x_c + x_l \cos \theta_c - y_l \sin \theta_c, \\ y_g = y_c + x_l \sin \theta_c + y_l \cos \theta_c. \end{cases} \quad (1)$$

### 1.2 Kinect

Kinect 是微软公司推出的一款用于 X-BOX360

的体感摄像机,它也可以在个人计算机上使用,目前支持 Kinect 在个人计算机上使用的软件开发包有 OpenNI 以及微软公司提供的 SDK, Kinect 通过 USB 接口与计算机连接。使用 Kinect 可以获得一幅分辨率为  $640 \times 480$  的 RGB 彩色图像和一幅与之对应的深度图像。利用获得的深度信息,可以通过转换得到相应环境的 3-D 模型,转换后的三维坐标系如图2,原点  $O$  为摄像机所在位置,  $Z$  轴正方向为摄像机正前方。

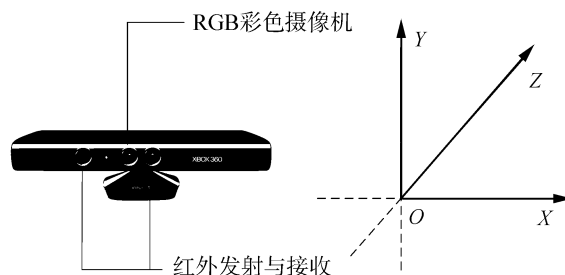


图2 Kinect 及其图像坐标系

Fig.2 Kinect and its image coordinates

由于 Kinect 摄像机的坐标系统与移动机器人使用的坐标系不同,因此从 Kinect 获得的 3-D 坐标需要经过转换才能保证与移动机器人坐标系统一致。具体的转换关系如图3所示,图中  $X, Y, Z$  为 Kinect 的 3-D 坐标系,  $X_r, Y_r$  为移动机器人局部坐标系。

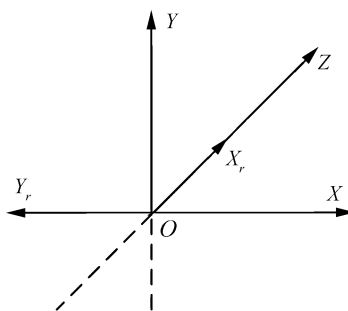


图3 Kinect 与移动机器人坐标系对应关系

Fig.3 Coordinates relationship between Kinect and mobile robot

因此,根据 Kinect 与移动机器人的坐标对应关系以及坐标转换方法,可以将由 Kinect 获取的移动机器人局部坐标系的环境信息转换为移动机器人全局坐标系下的环境信息。

需要注意的是 Kinect 读取深度数据时存在盲区,在实际的使用中, Kinect 能够读取到深度数据的有效范围约为  $600 \sim 5\,000$  mm,这就导致当障碍物进入到距离 Kinect 小于  $600$  mm 的范围时,其位置信息不能有效地被获取。因此需要将障碍物的信息

做一定的处理,使障碍物在进入 Kinect 的盲区后仍然能够被检测到。

## 2 目标跟踪与避障

### 2.1 局部地图更新

上文提到 Kinect 深度摄像机存在较大的盲区,因此在进行障碍物信息获取时,不能得到已经进入深度摄像机盲区中的障碍物信息,而这些信息恰恰是进行动态避障所必需的,因此提出局部地图更新的方法来解决这一问题。

局部地图更新的基本思想是利用图像对移动机器人一定范围内的障碍物位置进行存储和更新。与全局静态地图方法不同,此方法只存储和更新小范围内的地图,因此称为局部地图更新。考虑到移动机器人的高度为 480 mm,而 Kinect 摄像机距离地面的高度为 340 mm,因此使用 Kinect 获得 3-D 环境信息时就可以只选择那些高度值在 -300 ~ 140 mm 的点,然后将这些点投影到移动机器人确定的 2-D 坐标系中再进行处理。

另外,在使用 Kinect 时,会遇到 Kinect 的测量噪声,即在无障碍物的位置产生数据,如果直接使用原始的数据进行局部地图构建,就可能使原本可以通行的路径失效,因此在构建地图时采用概率统计的思想,对一定区域内的障碍物命中次数  $N_{hit}$  进行统计,当命中次数  $N_{hit}$  超过一个阈值  $N_{bound}$  后就确认此处存在障碍物。

局部地图更新的具体步骤如下:

1) 将 Kinect 扫描得到的数据按照俯视投影转换为 2-D 平面坐标,并按照 1:50 的比例添加到图像上,在图像上以像素点表示。此时图像上 2 个相邻像素点之间的距离就代表实际环境中 50 mm 的距离。同时对障碍物命中此像素点(实际为 5 cm×5 cm 的区域,可以通过更改转换比例选择地图分辨率)的次数  $N_{hit}$  进行累积计数。

2) 将当前机器人所在的位置映射到图像上,并以此位置为矩形中心,做边长为 40 个像素的正方形,此时便有一个周长 50×40 mm=2 m 的矩形围绕着移动机器人,在图 4 中以黑色矩形框显示。

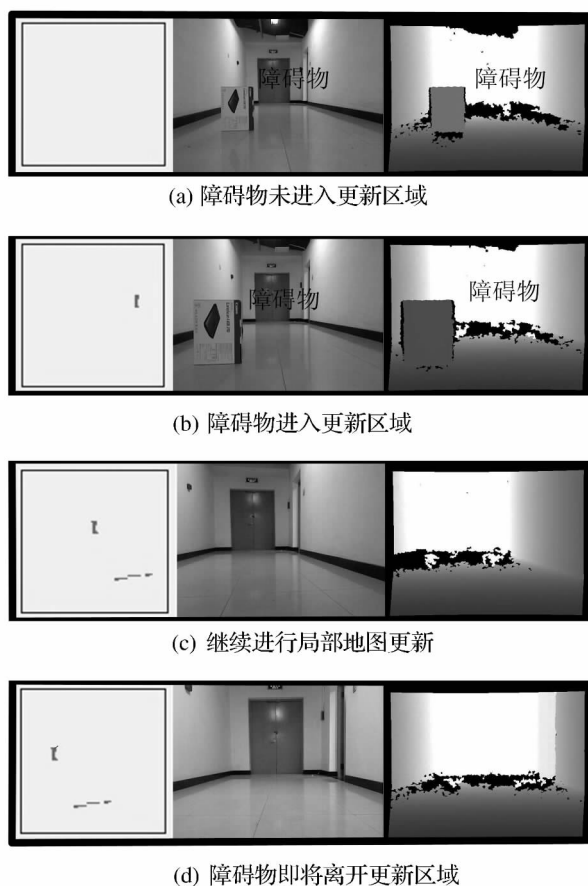
3) 统计边长为 40 个像素的矩形内像素点的个数,这些点可能是存在的障碍物在图像上的映射,并根据这些点在图像上的坐标按照 1:50 的比例再将它们转换回实际场景中的坐标。在使用人工势场法

避障计算时,只选取那些命中次数  $N_{hit}$  高于阈值  $N_{bound}$  的数据。

4) 当移动机器人移动一段距离后,重置移动机器人当前位置,将移动机器人坐标置为(0,0),清空图像并将 3) 中边长为 40 个像素的矩形框内的坐标点经过坐标变换重新绘制在图像上,其  $N_{hit}$  值保持不变,并剔除移动到框外的点。

5) 重新进入 1) 进行循环。

此算法的效果如图 4,黑色框表示地图存储和更新的区域,当障碍物进入此区域内,其位置就会不断被更新直到其离开局部地图更新的范围,这样就能基本解决 Kinect 的盲区问题。在图 4 中,左边列为局部地图更新区域,中间列为 Kinect 的 RGB 摄像机获取的彩色图像,右边列为相应深度图像。从图 4 中可以看出,当障碍物从彩色图像及深度图像上消失后,局部地图更新区域的信息能够有效地保障移动机器人对障碍物信息的获取。但限于 Kinect 本身的条件,对于那些毫无预兆进入 Kinect 盲区的障碍物,算法无法进行有效的处理。



(d) 障碍物即将离开更新区域

图 4 局部地图更新效果

Fig. 4 Updating of the local map

## 2.2 目标跟踪

目标跟踪算法采用基于颜色的粒子滤波算法,在光学图像上完成跟踪.在算法中使用数量为  $N$  的粒子集  $P_i(x_i, y_i, z_i, w_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , 其中,  $x_i, y_i$  表示第  $i$  个粒子在图像上的坐标,  $z_i$  表示当前目标区域与初始选取的目标区域的比例尺,  $w_i$  代表该粒子的权重.

目标跟踪算法如下:

1) 选取目标. 计算目标区域的颜色直方图并初始化粒子集  $P_i$ , 其中  $x_i, y_i$  的初始值设为选取的目标区域的中心,  $z_i$  初始值设为 1.

2) 粒子采样. 根据高斯分布对当前粒子进行采样, 分别得到新的  $x_i, y_i$  和  $z_i$ .

3) 计算权值. 根据采样得到的新  $x_i, y_i$  和  $z_i$  计算对应图像区域的颜色直方图, 并与 1) 中获取的原始颜色直方图进行比较, 采用巴氏距离计算出相应的权值  $w_i$  并进行归一化处理, 使  $w_i = w_i / \sum_{i=1}^N w_i$ .

4) 重采样. 根据权值  $w_i$ , 舍弃一定数量的小权值粒子并衍生出新的粒子, 然后重新回到 2).

当移动机器人只执行目标跟踪即不存在障碍物的影响时, 对移动机器人的移动速度  $v$  和角速度  $\omega$  采用模糊规则进行控制, 以确保良好的跟踪效果. 图 5 为角速度  $\omega$  和线速度  $v$  进行模糊控制的隶属度函数, 其中  $\delta$  为移动机器人方向与目标之间的夹角,  $d$  为移动机器人距离目标的距离减去设定的跟踪距离  $D$  (在目标跟踪时不能将机器人移动到目标所在位置, 应该使移动机器人与目标之间保持一定的距离). S2、S1、CE、B1、B2 表示 5 条模糊规则的隶属度函数.

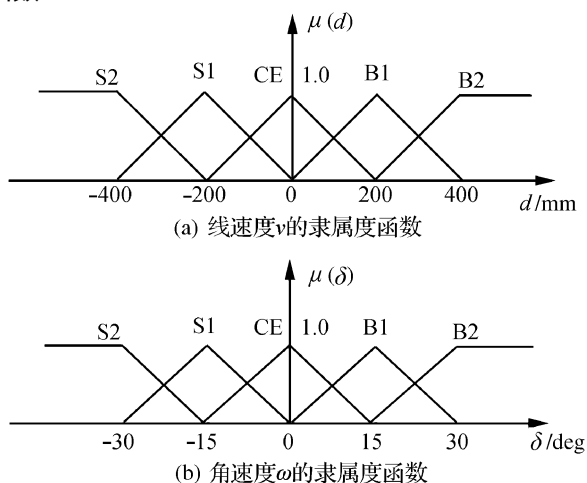


图 5 模糊控制隶属度函数

Fig. 5 The fuzzy controller's membership functions

具体意义是当移动机器人的运动方向与目标产生的吸引力方向相差的角度  $\delta$  很大时, 相应的移动机器人旋转的角速度也应该很大; 当角度  $\delta$  相差很小时, 旋转角速度也很小.  $\delta$  的符号决定了  $\omega$  的方向. 对于直线速度  $v$  的模糊控制规则与之类似, 但是在计算与目标的距离时需要减去  $D$ , 以保证移动机器人与目标的距离限制. 具体意义是当移动机器人距离目标很远时, 运动速度很大; 距离适中时, 运动速度很小; 随着距离  $d$  的不断变小 (负向增大), 运动速度也负向增大.

对于图 5 中的模糊规则, 为了描述方便, 设定对应角速度模糊规则的隶属度函数为  $R_{\omega i}$ , 对应隶属度为 1 时的角速度为  $\omega_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ; 设定对应直线速度的模糊规则的隶属度函数为  $R_{v j}$ , 对应隶属度为 1 时的直线速度为  $v_j$ ,  $j = 1, 2, 3, 4, 5$ . 那么根据以上规则可以计算出单纯目标跟踪时, 使用的角速度和直线速度的控制规律为:

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^5 \omega_i \times R_{\omega i}(\delta)}{\sum_{i=1}^5 R_{\omega i}(\delta)}, \quad (2)$$

$$v = \frac{\sum_{j=1}^5 v_j \times R_{v j}(d)}{\sum_{j=1}^5 R_{v j}(d)}. \quad (3)$$

## 2.3 人工势场法避障

移动机器人的避障使用人工势场法完成, 该方法简单实用、物理意义明确, 因而受到了广泛研究与使用. 其基本思想是在规划环境中构造虚拟力场, 障碍物对移动机器人产生排斥力, 目标点对移动机器人产生吸引力, 最终移动机器人在合力的作用下避开障碍物向目标移动. 人工势场法经过多年的研究, 在理论上已经比较成熟, 这里使用的人工势场法的具体公式为

$$\begin{aligned} F_{\text{att}} &= -k_{\text{att}}(\mathbf{q} - \mathbf{q}_{\text{goal}}); \\ F_{\text{rep}} &= \begin{cases} k_{\text{rep}}\left(\frac{1}{\rho(\mathbf{q})} - \frac{1}{\rho_o}\right) \frac{1}{\rho^2(\mathbf{q})} \frac{\mathbf{q} - \mathbf{q}_{\text{obstacle}}}{\rho(\mathbf{q})}, & \rho(\mathbf{q}) \leq \rho_o; \\ 0, & \rho(\mathbf{q}) \geq \rho_o. \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

式中:  $F_{\text{att}}$ 、 $F_{\text{rep}}$  分别为移动机器人受到的吸引力和斥力,  $k_{\text{att}}$ 、 $k_{\text{rep}}$  为正的因子,  $\mathbf{q}$  为移动机器人当前位置,  $\mathbf{q}_{\text{goal}}$  为目标所在位置,  $\mathbf{q}_{\text{obstacle}}$  为障碍物位置,  $\rho(\mathbf{q})$  为移动机器人当前位置距离障碍物位置的欧式距离. 由式(4)可以看出, 当移动机器人距离障

碍物越近时,受到的排斥力就越大.合力  $F = F_{\text{att}} + F_{\text{rep}}$  就用来控制移动机器人的运动,  $F$  是一个力的向量,它决定了移动机器人的加速度.

由于使用的移动机器人是差动驱动的非完整约束轮式移动机器人,不能像完整约束移动机器人那样直接使用力来控制移动机器人的运动,而差动驱动移动机器人最直观的控制方式就是控制其  $v$  及  $\omega$ ,因此在实现上要针对移动机器人的  $v$  及  $\omega$  进行控制.对于人工势场法在移动机器人上的实现, J. Borenstein 与 Y. Koren 曾在文献 [7] 中提出使用如下方法实现:

$$v = \begin{cases} v_{\max}, & |F_{\text{rep}}| = 0; \\ v_{\max}(1 - |\cos \alpha|), & |F_{\text{rep}}| > 0; \end{cases}$$

$$\omega = K \times \delta.$$

式中:  $\delta$  为合力  $F$  的方向与当前机器人运动方向的偏差角,范围为  $[-180^\circ, 180^\circ]$ ,  $v_{\max}$  为移动机器人的最大直线速度,  $\alpha$  为斥力  $F_{\text{rep}}$  与移动机器人运动方向的夹角,  $|F_{\text{rep}}|$  为斥力大小,  $K$  为控制参数.

为了实现目标跟踪与避障之间的切换,设计了具有安全区域的人工势场法,实现方法如图 6. 图 6(a) 中的实线矩形框表示正常行驶时的安全区域,当此区域内没有障碍物存在时,系统运行单纯目标跟踪模式,机器人的运动由式(2)、(3)来控制.图 6(b) 中的实线矩形框中有障碍物 3 出现,此时系统进入优先避障模式,移动机器人根据虚线矩形框所确定范围内的障碍物信息进行避障,直至小框内没有障碍物.此方法不仅可以有效地进行控制方式的切换,而且也增强了整个系统通过狭小通道及沿墙走的能力.

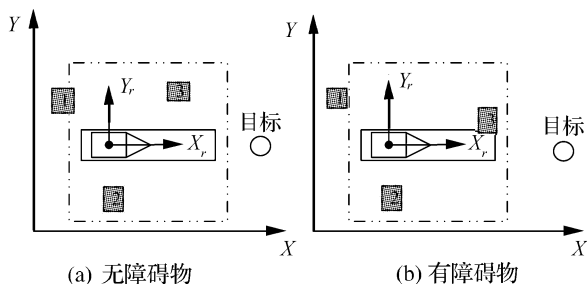


图 6 势场法安全区域示意

Fig. 6 The safe region of artificial potential

### 3 实验结果与分析

实验移动机器人使用的是 MobileRobots 公司的 PowerBot3,这款型号的移动机器人长度为 900 mm、宽度约为 660 mm、高度为 480 mm,采用差动驱动方式,且无转弯半径限制. PowerBot3 机器人的内部搭

载了一台计算机,可以方便地与 Kinect 进行连接.

实验中,设定不存在瞬间进入 Kinect 盲区的物体.移动机器人在其离目标的距离小于一个合理的保持距离  $D$  时停止移动.为保证移动机器人的稳定性,当移动机器人停止运动后增加一定的死区,避免轻微的扰动造成移动机器人的振动.实验的结果如图 7,图中最小的圆点表示移动机器人运动轨迹,略大的黑色圆表示目标的移动轨迹,长条代表障碍物,矩形框表示移动机器人.移动机器人最后都在距离目标约为  $D$  时停止运动,在实验中设定  $D$  为 1.5 m.从图 7 中可以看出移动机器人在跟踪目标移动的同时能够有效地避开障碍物.

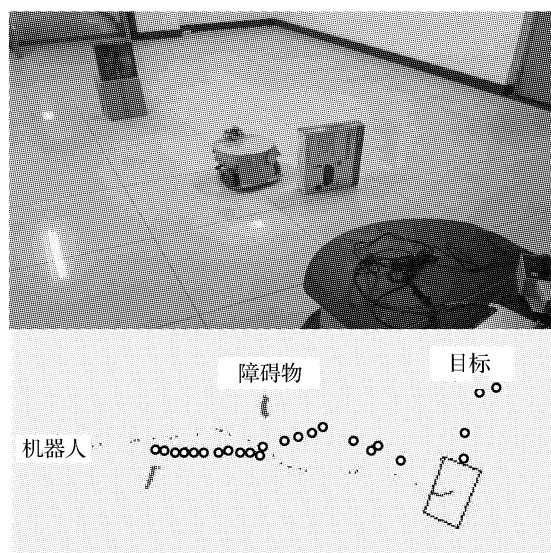


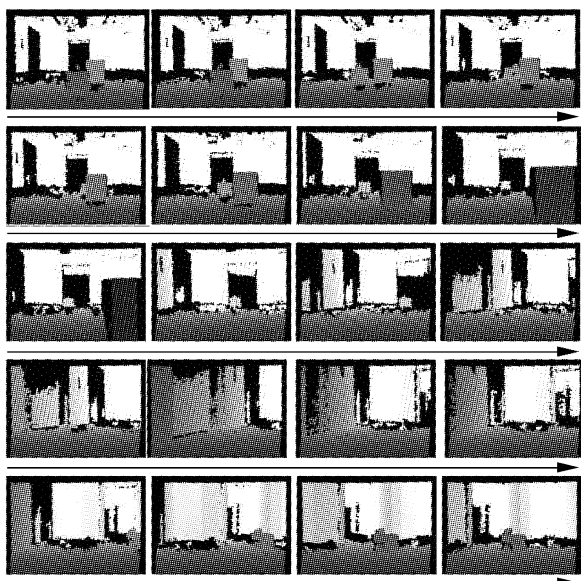
图 7 实验效果

Fig. 7 The experimental results

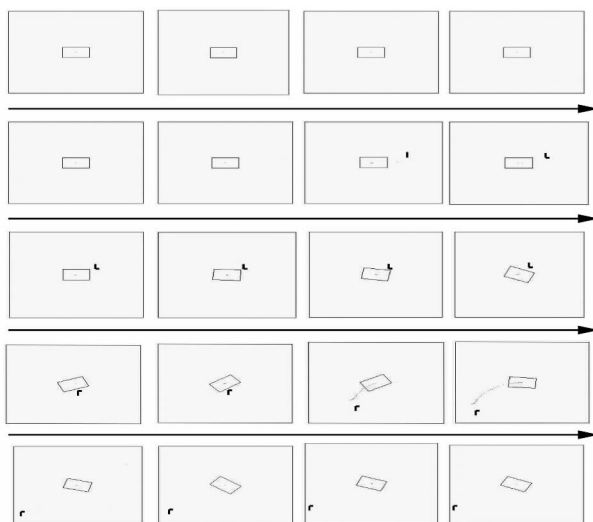
图 8(a) 给出了其中一次目标跟踪与避障实验时 Kinect 获取的彩色图像,图中黑色矩形框代表目标跟踪区域,由左至右、从上至下选取了整个过程中具有代表性的关键帧图像,对整个过程进行展示.图 8(b) 是此过程中与光学图像相对应的深度图像,从图中可以看出,在整个过程中移动机器人能够跟踪目标移动并完成障碍物回避.在过程中有时会出现目标短暂丢失的情况,但通过调整移动机器人的运动可以很快重新获取目标并继续跟踪.图 8(c) 展示了对应过程的局部地图更新效果,图中小矩形框代表移动机器人,小线段表示障碍物,浅色点曲线表示移动机器人的运动轨迹.从 8(c) 中可以看出局部地图更新方法可以有效地保证移动机器人对障碍物信息进行有效地获取.



(a) 实验光学图像



(b) 实验深度图像



(c) 实验局部地图更新图像

图8 实验的光学与深度图像

Fig.8 The experimental optical images

## 4 结束语

本文提出的基于统计思想的局部地图更新方法成功解决了 Kinect 在获取环境信息时盲区的影响。在移动机器人上的实验结果表明,使用 Kinect 的移动机器人可以很好地完成目标跟踪与避障任务,说明 Kinect 很适合作为移动机器人获取环境信息的传感器。虽然局部地图更新方法对静态障碍物的避碰效果较好,但对动态障碍物的效果不是很理想,因此还需要进一步研究此问题,以便将 Kinect 更好地应用于移动机器人的目标跟踪与避障。

## 参考文献:

- [1]STEPHANEDES Y J, KWON E, TZAFESTAS S G, et al. Optimal control of nonlinear dynamic transportation systems [C]//Proceedings of the 29th IEEE Conference on Decision and Control. Honolulu, USA, 1990: 1641-1645.
- [2]MICHAEL B, KAI N, BRYAN R. Large-scale multi-agent simulations for transportation applications [J]//Journal of Intelligent Transportation Systems, 2004, 8(4): 205-221.
- [3]高峰, 王江锋, 施绍友, 等. 基于模糊神经网络的车辆避撞预警算法[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2006, 27(3): 211-215.  
GAO Feng, WANG Jiangfeng, SHI Shaoyou, et al. Vehicle intelligent collision warning algorithm based on fuzzy neural networks[J]. Journal of Jiangsu University: Nature Science Edition, 2006, 27(3): 211-215.
- [4]DAVID C. Count down to greater safety [J]. ITS International, 2005, 11(2): 1-3.
- [5]张琪, 杨宜民. 基于改进人工势场法的足球机器人避碰控制[J]. 机器人, 2002, 24(1): 12-15.  
ZHANG Qi, YANG Yimin. Soccer robot collision avoidance control based on evolutionary artificial potential field [J]. Robot, 2002, 24(1): 12-15.
- [6]李人厚. 自主移动机器人导论[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2006: 276-279.
- [7]BORENSTEIN J, KOREN Y. Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1989, 19(5): 1179-1187.
- [8]CAO Qixin, HUANG Yanwen, ZHOU Jingliang. An evolu-

tionary artificial potential field algorithm for dynamic path planning of mobile robot [C]//2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Beijing, China, 2006: 3331-3336.

[9] 夏轩, 刘华平. 基于 DSP 的主动视觉系统 [J]. 机器人, 2012, 34(3): 354-362.

XIA Xuan, LIU Huaping. DSP-based active vision system [J]. Robot, 2012, 34(3): 354-362.

[10] 刘涛. 基于粒子滤波的目标跟踪算法研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2010: 12-22.

LIU Tao. Object tracking algorithm research based on particle filter [D]. Chongqing: Southwest University, 2010: 12-22.

[11] 庄严, 战洪斌, 王伟, 等. 基于加权颜色直方图和粒子滤波的彩色物体跟踪 [J]. 控制与决策, 2006, 21(8): 868-894.

ZHUANG Yan, ZHAN Hongbin, WANG Wei, et al. Weighted color histogram based particle filter for visual target tracking [J]. Control and Decision, 2006, 21(8): 868-894.

#### 作者简介:



贺超, 男, 1987 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为移动机器人、嵌入式系统。



刘华平, 男, 1976 年生, 副教授, 主要研究方向为智能控制与机器人、视频跟踪与检测、智能交通等。



孙富春, 男, 1964 年生, 教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 中国人工智能学会理事、智能控制与智能管理专业委员会副主任兼秘书长。主要研究方向为智能控制、机器人与飞行器的导航与控制、网络控制系统、人工认知系统的信息感知和处理等。曾获全国优秀博士论文奖、教育部新世纪人才奖、国家杰出青年基金、北京市科学技术进步二等奖。发表学术论文 120 余篇, 其中被 SCI 检索 52 篇。



## 计算机辅助设计与图形学学报

Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics

国内邮发代号: 82-456 定价: 60.00 元 国外发行代号: M1231 连续出版物号: ISSN 1003-9775  
CN 11-2925/TP

主编: 鲍虎军 主办: 中国计算机学会 出版: 科学出版社

- ◇ 创刊于 1989 年, 是我国 CAD 和计算机图形学领域第 1 个公开出版的学术刊物。
- ◇ 该刊以快速传播 CAD 与计算机图形学领域的知识与经验为目的, 刊登有创新的学术论文, 报导最新科研成果和学术动态, 及时反映该领域发展水平与发展方向。
- ◇ 该刊面向全国, 聘请了我国 CAD 和计算机图形学学术界的知名学者、专家参加刊物的编委会, 具有权威性和代表性。
- ◇ 读者对象为从事 CAD 和计算机图形及其他有关学科的科研、工程技术人员及高等院校师生。
- ◇ 为我国计算技术、计算机类核心期刊; EI、SA、AJ 等收录源。

#### 栏目

1. 图形与可视化 (Graphics & Visualizing): 包括几何造型与处理、图形算法、计算几何、计算机动画、可视化。
2. 图像与视觉 (Image & Computer Vision): 包括计算机视觉、基于图像的图形计算、基于图像的建模、图形图像的内容安全。
3. 虚拟现实与交互技术 (Virtual Reality & Interaction Technique): 包括人机交互和界面技术、虚拟环境的表示、感知和再现、增强现实技术。
4. 数字化设计与制造 (Digital Design and Manufacture): 包括计算机辅助概念设计与智能设计、虚拟样机、网络化协同设计与制造、应用系统集成。
5. VLSI 设计与测试及电子设计自动化 (VLSI Design, Test and Electronic Design Automation): 包括系统级设计与验证、多处理器设计与验证、RTL 与逻辑级综合与验证、测试诊断与可靠性设计、物理设计与版图验证。
6. 系统研发与应用 (Systems and Applications): 涉及 CAD&CG 的系统研发及应用, 要求文章短、时效性、有案例, 由编委专人负责审阅并快速发表。
7. 学术前沿与综述 (Frontiers and Reviews)。

编辑部地址: 北京 2704 信箱《计算机辅助设计与图形学学报》编辑部

邮编: 100080 电话: 010-62562491 E-mail: jcad@ict.ac.cn 网址: http://www.jcad.cn