

服务机器人智能空间中 QR Code 人工地标的设计、定位与识读^①

李国栋^{②*} 田国会^{③*} 王洪君^{**} 周风余^{*} 吴 皓^{*}

(* 山东大学控制科学与工程学院 济南 250061)

(** 山东大学信息科学与工程学院 济南 250100)

摘 要 研究了服务机器人智能空间中 QR Code 人工地标的设计、定位与视觉伺服识读问题。首先设计了一种基于 QR Code 技术的新型人工地标,并利用世界平面的单应分解方法得到了机器人上所搭载摄像机相对人工地标坐标系的位置和姿态信息,然后建立了移动机器人的运动学模型,并采用一种令机器人作纯旋转运动的简便方法实现了机载摄像机坐标系相对移动机器人坐标系的外参数的标定,最后设计了基于位置的视觉伺服识读算法来控制移动机器人完成对 QR Code 内存储的丰富信息的读取。实验结果表明,该人工地标识别距离远,定位精度高,且所设计的识读算法简单有效。

关键词 视觉伺服,外参数标定,QR Code,服务机器人智能空间

0 引 言

智能空间(intelligent space)是一种新的复杂的人机交互协作环境,它基于知识分布与智能分布思想,利用分布于环境中的多种类型的传感器和无线网络技术,实现机器人对环境的全面感知和对人的行为意图的正确理解,从而使其完成相应的服务^[1-3]。利用智能空间技术可以降低机器人本身对所携带传感器的要求,还可使各种类型的异构机器人得以共存,从而相互协作。因此,智能空间技术的应用,使服务机器人更好地为人提供各种主动服务成为可能^[4,5]。

将知识和智能分布于环境中去,需要各种载体,其中人工地标(artificial landmark)就是一种有效的知识载体。人工地标是指人工特殊设计的,具备指引机器人导航、定位功能的物体或标志。因其具有易于检测和信息量大等优点,被广泛应用于移动机器人的导航定位中,取得了许多卓有成效的研究成果^[6-8]。Zitova 和 Flusser^[9]设计了包含两个同心圆的地标,并给出了基于仿射运动不变性的人工地标识别方法;Scharstein 和 Briggs^[10]利用尺度相似的模

式构造出了一种自相似人工地标,并给出了一种提取该人工地标的简单方法;Ni^[11]使用 RFID 标签完成了室内环境下机器人的定位;Kamol 等^[12]利用 RFID 射频标签完成了对物品的存在区域的粗定位;韩国 Hagisonic 公司开发的移动机器人 StarGazer 定位系统通过将包含位置与姿态信息的红外标签分布于顶棚,实现了机器人的实时精确定位;赵守鹏^[13]提出了一种基于快速响应码(QR Code)的二维自相似人工地标,并应用到了机器人的自主定位中。QR Code 的引入,改变了以往所提出的人工地标只具备辅助机器人进行导航定位的功能,使人工地标包含各类高层语义信息,从而在应用层为机器人提供支持成为可能。本研究为克服文献[13]所设计地标无法提供姿态信息的缺点,设计了一种新型的基于 QR Code 编解码技术的二维地标,这种地标的内部是包括空间全局语义描述层—区域规划层—局域描述层的三层分层空间模型或用于机器人导航的局部二维栅格地图^[14],外围标识则为移动机器人提供有效的位姿信息,通过世界平面的单应分解方法可以方便地得到机器人相对人工地标的位姿。然后为了控制移动机器人完成对 QR Code 内存储的丰富信息的读取,建立了移动机器人的运动学模型,标定了

① 863 计划(2006AA040206;2009AA04Z220),国家自然科学基金(61075092),山东省自然科学基金(ZR2011FM011)和山东大学自主创新基金(2011JC017)资助项目。

② 男,1981 年生,博士;研究方向:视觉伺服,机器视觉等;E-mail:lgd@xtu.edu.cn

③ 通讯作者,E-mail:g. h. tian@sdu.edu.cn

(收稿日期:2013-03-21)

摄像机相对移动机器人的外参数,并设计了基于位置的视觉伺服控制律。实验结果表明,这种新型人工地标不仅能够提供丰富的信息,而且识别距离远、识读精度高,同时设计的视觉伺服识读算法简单有效。

1 QR Code 人工地标设计

与基于 QR Code 的人工物标^[15,16]类似,QR Code 人工地标也可分为内部信息表示和外围标识两部分,如图 1 所示。



图 1 QR Code 二维码人工地标

1.1 内部信息表示

本文所设计的人工地标按功能可分为面向全局语义地图生成的 QR Code 人工物标及面向局部导航地图生成的 QR Code 人工路标两大类。面向全局语义地图生成的 QR Code 人工物标主要张贴于大物品表面,机器人对整个家庭环境进行遍历,通过对人工物标内存储的信息进行识读来建立家庭环境中关键物品的位置、尺寸、所处房间及如何到达物品所处位置的全局语义地图。面向局部导航地图生成的 QR Code 人工路标对环境可通行性信息进行编码并存储,机器人通过对其进行识读来建立用于导航的二维栅格地图。两大类人工地标功能不同,所以其编码方式也有所区别。

表 1 所示为面向全局语义地图生成的 QR Code 人工物标的内部信息编码方式。

全局语义地图使机器人可以全面地了解环境中的对象,为机器人方便有效地进行与服务任务相关的知识自动推理提供支持。

表 1 面向全局语义地图生成的 QR Code 人工物标存储信息编码

信息名	说 明	字节数
起始符	Ob_Mark:	8
编号	数字,例如 001,002 等	3
名称	字母,不足 8 位用空格补足,多于 8 位则简写。	8
尺寸	单位为 cm 的数字,长 * 宽 * 高形式,每项各占 3 字节,以 * 连接	11
关联小物品属性	字母,最多 3 个小物品,每个物品占 8 位,不足 8 位空格补足,多余 8 位简写,中间以“,”作区分	26
归属房间	字母,占 8 位,不足 8 位空格补足,多于 8 位简写	8
其它属性	字母,与对象关联小物品属性类似	26
结束符	000	3

表 2 所示为面向局部导航地图生成的 QR Code 人工路标的内部信息编码方式。

表 2 面向局部导航地图生成的 QR Code 人工路标存储信息编码

信息名	说 明	字节数
起始符	“xy:房间长,房间宽”,长和宽单位为 cm,分别占 4 字节	12
物品标识	首字节表示物品种类(字符形式);次字节对物品编号(数字形式)	2
物品尺寸	4 组单位为 cm 的数字,中间由空格隔开,每组数字占 4 字节,详细信息见表 3	19
结束符	000	3

表 2 中的物品标识分为墙断、门、普通物品等三大类。其具体物理意义见表 3。

表 3 不同种类物品的尺寸信息说明表

物品种类	第 1 组数字	第 2 组数字	第 3 组数字	第 4 组数字
墙断	起点横坐标	起点纵坐标	终点横坐标	终点纵坐标
门	中心点横坐标	中心点纵坐标	门宽	朝向
物品	中心点横坐标	中心点纵坐标	半长(横坐标方向)	半宽(纵坐标方向)

墙断用字符 w(即英文 wall)表示,类似地,门用字符 d(door)表示,普通物品用所对应英文单词的首字母表示。对于门的第 4 组数字,南北朝向用 0000 表示,东西朝向用 0001 表示。

1.2 外围标识

外围标识由最外围的同心圆环和内部的矩形框组成,机器人通过利用 Hough 变换检测圆环的方法可以在相对复杂的家庭环境中从较远距离快速定位、识别出人工地标,而机器人通过识别矩形框的 4 个角点来间接地对自身进行定位并最终完成地标信息的视觉伺服识读。

在服务机器人智能空间中,所设计的人工地标是标准化的,即外围标识中的矩形框大小固定,其外边长 $l = 14.3\text{cm}$ 。因此,以共心圆圆心 o 为坐标原点,以垂直纸面向外的单位矢量为 z 轴,以平行于矩形框左右边长的单位矢量为 x 轴,在人工物标上固联物体坐标系 $\{o\}$,则矩形框的四个外顶点在 $\{o\}$ 中的 3D 齐次世界坐标 $P_i = [X_i, Y_i, 0, 1]^T (i = 1, \dots, 4)$ 为已知,分别是:

$$P_1 = [-7.15 \quad -7.15 \quad 0 \quad 1]^T$$

$$P_2 = [-7.15 \quad 7.15 \quad 0 \quad 1]^T$$

$$P_3 = [7.15 \quad 7.15 \quad 0 \quad 1]^T$$

$$P_4 = [7.15 \quad -7.15 \quad 0 \quad 1]^T$$

上面 4 个点的 z 分量均为 0,因此,可记与 P_i 对应的点 $\hat{P}_i (i = 1, \dots, 4)$ 为:

$$\hat{P}_1 = [-7.15 \quad -7.15 \quad 1]^T$$

$$\hat{P}_2 = [-7.15 \quad 7.15 \quad 1]^T$$

$$\hat{P}_3 = [7.15 \quad 7.15 \quad 1]^T$$

$$\hat{P}_4 = [7.15 \quad -7.15 \quad 1]^T$$

2 人工地标的定位

已知人工地标的 3D 模型,即 $P_i (i = 1, \dots, 4)$,若还知道摄像机的内参数矩阵 K 和 P_i 所成的像 p_i ,根据世界平面的单应分解法就可求出目标坐标系 $\{o\}$ 在当前摄像机坐标系 $\{c\}$ 中的位姿 $[{}^cR_o \quad {}^c t_o]$ 。

若 P_i 在摄像机坐标系 $\{c\}$ 中的齐次图像坐标为 ${}^c p_i = [{}^c u_i, {}^c v_i, 1]^T$,则 P_i 在 $\{c\}$ 中的归一化射影坐标为

$${}^c m_i = K^{-1} {}^c p_i = [{}^c x_i \quad {}^c y_i \quad 1]^T \quad (1)$$

根据射影成像模型,有

$$\sigma_i {}^c p_i = K [{}^c R_o \quad {}^c t_o] P_i \quad (2)$$

其中, σ_i 为摄像机 $\{c\}$ 主平面前方的 3D 点 P_i 的成像深度。记旋转矩阵 ${}^c R_o = [{}^c r_1, {}^c r_2, {}^c r_1 \times {}^c r_2]$,则式(2)可进一步写为

$$\sigma_i {}^c m_i = [{}^c r_1 \quad {}^c r_2 \quad {}^c t_o] \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

记世界平面的欧氏单应阵为

$$H = [{}^c r_1 \quad {}^c r_2 \quad {}^c t_o] \quad (4)$$

进而有

$$\sigma_i {}^c m_i = H \hat{P}_i \quad (5)$$

在式(5)中, σ_i 表示摄像机主平面前方空间 3D 点 P_i 的成像深度。令 H 被尺度因子 α 单位化为 F-范数为 1 的 H' :

$$H' = \alpha H$$

$$H'_F = 1 \quad (6)$$

将式(6)代入式(5),得

$$\sigma_i {}^c m_i = \frac{1}{\alpha} H' \hat{P}_i \quad (7)$$

式(7)中存在未知尺度因子 σ_i 和 α ,等式两端的矢量作叉乘,有

$$\sigma_i {}^c m_i \times \left(\frac{1}{\alpha} H' \hat{P}_i \right) = 0 \quad (8)$$

将 H' 的第 j 行记为 h'^j ,并将式(8)展开,整理得

$$\begin{bmatrix} 0^T & -\hat{P}_i^T & {}^c y_i \hat{P}_i^T \\ \hat{P}_i^T & 0^T & -{}^c x_i \hat{P}_i^T \\ -{}^c y_i \hat{P}_i^T & {}^c x_i \hat{P}_i^T & 0^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h'^1 \\ h'^2 \\ h'^3 \end{bmatrix} = A_i h' = 0 \quad (9)$$

其中 $A_i \in \mathbf{R}^{3 \times 9}$,记 $A = [A_1^T, A_2^T, \dots, A_4^T]^T$,考虑到约束(6)与 $h'_2 = 1$ 等价,记矩阵 A 的奇异值分解 $A = UDV^T$,则 h' 可取为 V 的最后一列矢量。

记求得的 $H' = [a \quad b \quad c]$,根据式(4)、式(6)可知:

$$[a \quad b \quad c] = \alpha [{}^c r_1 \quad {}^c r_2 \quad {}^c t] \quad (10)$$

对式(10)等号两端前两列列矢量分别取 2-范数,有

$$\alpha = \pm \frac{\|a\|_2 + \|b\|_2}{2} \quad (11)$$

将式(11)代入式(6),可以求得两个世界平面的欧氏单应:

$$H = \frac{1}{\alpha} H' \quad (12)$$

至此,求得了具有二重多义性的世界平面的欧氏单应 H ,为消除二重多义性,给出约束:

约束:目标平面的 3D 点 P_i 一定位于摄像机前方。

给出的约束意味着式(5)中的 $\sigma_i > 0$ 。因此,目标坐标系 $\{o\}$ 的圆点位于摄像机 $\{c\}$ 的前方是约束成立的必要条件。将 $\{o\}$ 的圆点 $\hat{P} = [0 \ 0 \ 1]$ 代入式(5),并根据式(6)可得

$$\sigma_i = h_{33} = \frac{h'_{33}}{\alpha} > 0 \quad (13)$$

其中, h'_{33} 、 h_{33} 分别是 H' 和 H 的最后一个元素。

取 $\alpha > 0$, $h'_{33} > 0$, 这意味着 h' 取为 V 的最后一列矢量,且 h' 最后一个元素取正值。可以看出,在约束条件下,一定可以消除二义性,得到符合约束条件的唯一 H 。

求得 H 后,摄像机外参数可由式(4)给出:
 $[\ ^cR_o | \ ^ct_o] = [\ ^c r_1, \ ^c r_2, \ ^c r_1 \times \ ^c r_2, \ ^ct_o]$ 。

为消除角点提取操作和图像本身噪声引入的误差,对 $\ ^cR_o$ 作奇异值分解 $\ ^cR_o = UDV^T$, 则 UV^T 是满足 $\min_R \|R - \ ^cR_o\|_F$ 条件的旋转矩阵。

至此,人工地标相对摄像机坐标系 $\{c\}$ 的位姿得到了确定。

3 人工地标的识读

本节以定位结果为基础设计机器人控制律,控制服务机器人运动到一个合适的位姿,完成 QR Code 码的视觉识读。可以看出,这是一个典型的非完整约束移动机器人的视觉伺服控制问题。为解决这一问题,首先将移动机器人抽象成一个具有旋转-平移-旋转三自由度的广义机械臂,并对其进行运动学建模,然后标定出坐标系 $\{R\}$ 与摄像机坐标系 $\{c\}$ 的关系 $\ ^cT_R$,将 $\{o\}$ 相对 $\{c\}$ 的位姿 $\ ^cT_o$ 转换为相对于机器人坐标系 $\{R\}$ 的位姿 $\ ^RT_o$,最后设计出基于位置的视觉伺服控制律。

3.1 移动机器人建模

移动机器人共有 3 个自由度,因此可将其抽象为一类广义三自由度机械臂。利用 Denavit 和 Hartenberg 提出的机械臂运动学建模方法,在各个关节分别固联坐标系 $\{i\}$ ($i=1,2,3$),并取基坐标系 $\{0\}$ 和末端执行器坐标系 $\{E\}$ 均与机器人坐标系 $\{R\}$ 重合,确定出运动学参数,即可建立移动机器人所对应的广义机械臂运动学方程和运动微分方程。

图 2 所示为 Leader 1-DX 型服务机器人及利用 Denavit-Hartenberg 方法建立的广义三自由度机械臂的各个连杆坐标系。Leader 1-DX 由山东大学服务机器人实验室自主研发,采用两轮差分驱动外加一个作为支撑轮的万向轮的结构。只要在两个驱动轮施加特定的转速,即可使其实现笛卡尔空间中的期望运动。

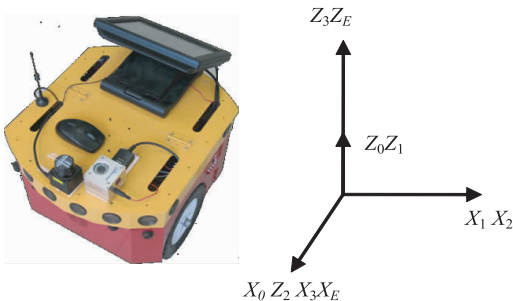


图 2 移动机器人运动学建模

根据图 2 所建立的连杆坐标系可确定出如表 4 所示的各连杆的 D-H 运动学参数。

表 4 广义机械臂各连杆运动学参数

连杆	α	$a(\text{cm})$	θ	$d(\text{cm})$	连杆类型
1	0	0	$\pi/2$	0	R
2	$\pi/2$	0	0	0	T
3	$-\pi/2$	0	$-\pi/2$	0	R
E	0	0	0	0	

在表 4 中, α, a, θ, d 分别表示连杆扭角、连杆长度、关节角和连杆偏置。最后一列(连杆类型)中, R 代表转动关节, T 代表移动关节。

由各个连杆的 D-H 参数可以确定出连杆变换矩阵 $\ ^{i-1}T_i$ ($i=1,2,3$)。进而广义机械臂的运动学方程和机器人坐标系 $\{R\}$ 的笛卡尔速度与各关节速度之间的关系式为

$$\begin{aligned} \ ^0T_R &= \begin{bmatrix} c_{13} & -s_{13} & 0 & dc_1 \\ s_{13} & c_{13} & 0 & ds_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} \ ^0v_x \\ \ ^0v_y \\ \ ^0\omega_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -ds_1 & c_1 & 0 \\ dc_1 & s_1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{d} \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (14)$$

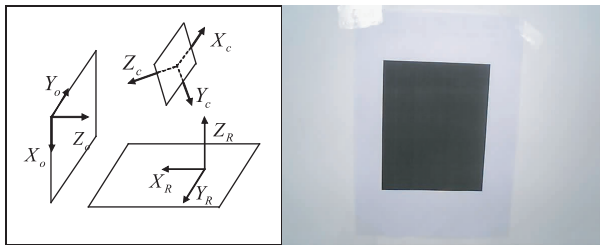
根据式(14)可知,当 $d=0$ 时,雅可比矩阵奇异,机器人处于奇异位姿,此时机器人位于世界坐标原点处。可以在广义机械臂处于非奇异位姿时,由机器人在笛卡尔空间的位置和速度得到广义机械臂的各关节位移和速度。

3.2 摄像机外参数标定

摄像机外参数标定是指确定机器人坐标系 $\{R\}$ 相对摄像机坐标系 $\{c\}$ 的位姿 ${}^cR_R | {}^c t_R$ 。要想将人工地标坐标系 $\{o\}$ 相对 $\{c\}$ 的位姿 ${}^cR_o | {}^c t_o$ 转换为 $\{o\}$ 相对 $\{R\}$ 的位姿 ${}^R R_o | {}^R t_o$,进而以 $\{R\}$ 为参考坐标系设计控制律,必须对摄像机外参数进行标定。

下面给出一种简单易行的机器人上固定摄像机的外参数标定方法。

首先打印一张黑色矩形图案,在其上固联如图 3(a)所示的目标坐标系 $\{o\}$,将其贴到墙面上,使 X_o 垂直于地面, Z_o 垂直于墙面,手工测量出 $\{o\}$ 的原点相对地面的高度 H_o ,然后移动服务机器人,使移动机器人的朝向垂直于墙面,手工测量出机器人上表面距地面的高度 H_R ,采集如图 3(b)所示的标定物的图像。



(a)简易外参数标定示意图

(b)标定物图像

图 3 移动机器人朝向墙面采集的图像

摄像机的内参数可由张正友的摄像机内参数标定算法事先标定出来, K 值为

$$K = \begin{bmatrix} 865.1114 & 0 & 319.5 \\ 0 & 857.872 & 239.5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

根据已知的 K 值,按照第 3 节的世界平面单应分解法可求得对应图 3(b)的 ${}^cR_o | {}^c t_o$ 为

$${}^cR_o | {}^c t_o = \begin{bmatrix} -0.0406 & 0.9960 & 0.0796 & -7.2802 \\ 0.9797 & 0.0240 & 0.1992 & -8.0888 \\ 0.1965 & 0.0860 & -0.9767 & 49.6983 \end{bmatrix}$$

记 ${}^R T_o = \begin{bmatrix} {}^R R_o & {}^R t_o \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$, ${}^R R_o$ 可根据图 3(a) 确定出来,

为 ${}^R R_o = \text{rot}(Y_R, -90^\circ) \cdot \text{rot}(Z_R, 180^\circ)$, 则 ${}^R R_c =$

${}^R R_o R_o^T$:

$${}^R R_c = \begin{bmatrix} -0.0796 & -0.1992 & 0.9767 \\ -0.9960 & -0.0240 & -0.0860 \\ 0.0406 & -0.9797 & -0.1965 \end{bmatrix}$$

图 4 所示为摄像机的外参数标定原理图。

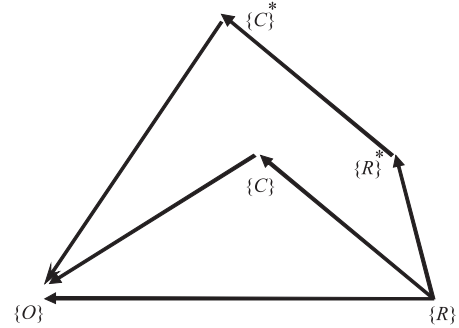


图 4 摄像机外参数标定原理图

令移动机器人沿其转轴 Z_R 作纯旋转运动,运动后的机器人坐标系记为 $\{R^*\}$,对应的摄像机坐标系为 $\{c^*\}$,根据图 4 可知,有如下齐次变换链成立:

$${}^R T_c T_o = {}^R T_{R^*} {}^R T_{c^*} T_o \quad (15)$$

记 ${}^R T_{R^*} = \begin{bmatrix} {}^R R_{R^*} & {}^R t_{R^*} \\ 0^T & 1 \end{bmatrix}$, 展开:

$$({}^R R_{R^*} - I_{3 \times 3}) {}^R t_c = {}^R R_{c^*} {}^R t_o - {}^R R_{R^*} {}^R R_{c^*} {}^R t_o - {}^R t_{R^*} \quad (16)$$

由于移动机器人仅能作绕 Z 轴的转动和 X 轴的移动,因此式(16)中 ${}^R R_{R^*} - I_{3 \times 3}$ 有如下形式:

$${}^R R_{R^*} - I_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} c\theta - 1 & -s\theta & 0 \\ s\theta & c\theta - 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

这意味着由机器人的已知运动只能求得 ${}^R t_c$ 的 x, y 分量。令机器人沿转轴转动 25° 到达 $\{R^*\}$,采集如图 5 所示的图像。

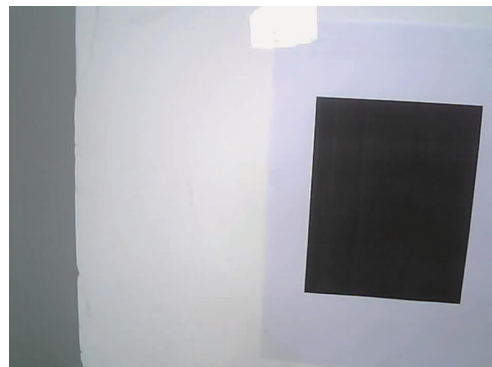


图 5 机器人转动后采集的图像

- Transformation 模块为矩阵乘法模块。
- ControlLaw 模块选取式(21)所示的逼近控制律。
- RobotMotion 模块根据当前 ${}^R T_o$ 和输入的机器人运动控制量 V_E ,确定下一采样时刻的 ${}^R T_o$ 。
- Imaging 模块根据摄像机内参矩阵和摄像机成像模型,得到当前图像。

图7-图9为逼近控制律作用下的逼近效果。其中,图7所示为机器人的控制输入;图8为机器人

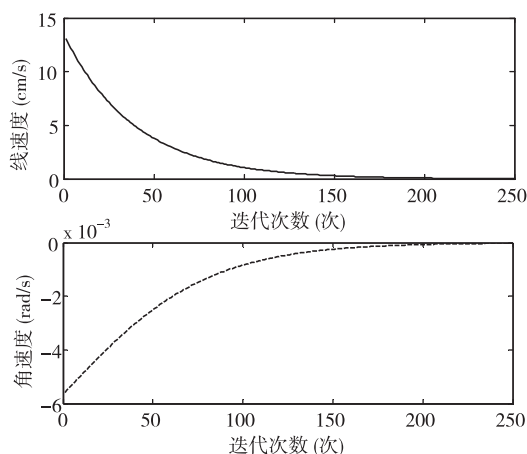


图7 机器人控制输入

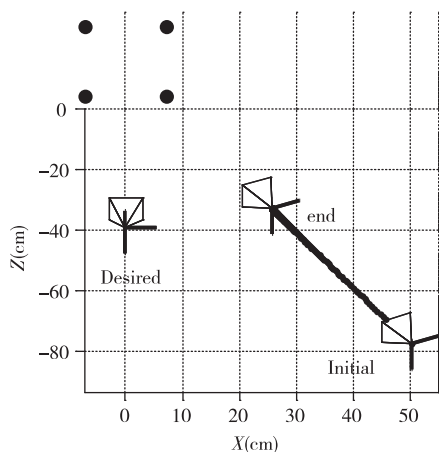


图8 笛卡尔空间中的摄像机运动轨迹

在控制输入的作用下,摄像机在三维笛卡尔空间的运动轨迹;图9为机器人运动过程中,人工地标外围模式中矩形框的四个角点所成像的运动轨迹。

在图7所示的控制输入下,摄像机由 Initial 位置运动到 end 位置。

图9中十字点代表期望点,曲线为机器人运动过程中摄像机观测到的特征点的运动轨迹。

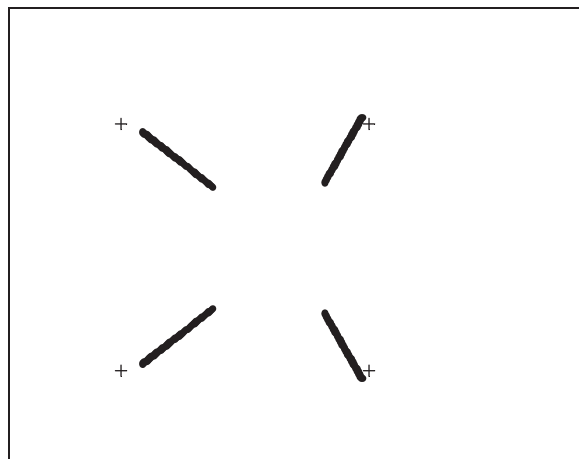


图9 图像特征点运动轨迹

可以看出,在眼注视逼近控制律的作用下,服务机器人以近似直线的运动成功逼近了 QR Code 人工地标,同时在逼近过程中,保证了图像特征点始终位于摄像机的视野(field of view, FOV)中。

4.2 人工地标视觉伺服识读实验

通过上节的仿真可以看出所设计逼近控制律的有效性。本节将采用此控制律来控制服务机器人完成 QR Code 人工地标的识读。实验硬件平台采用搭载 Gsou V30 摄像头的 Leader 1-DX 型轮式移动机器人;软件平台为 Windows XP Professional, OpenCV1.0, Microsoft Visual Studio 6.0 和 FitQR Code 编解码开发工具包。

图10(a)为机器人在方便对 QR Code 人工地标进行解码的位置采集到的期望图像,图10(b)为机器人在初始位置采集到的当前图像。



(a)期望图像

(b)当前图像

图10 期望图像与当前图像

如图11所示,利用高斯模型对圆环区域进行分割并通过 Hough 变换检测共心椭圆的方法来确定包含 QR Code 编码的感兴趣区域,然后在此区域内检测矩形框并直线拟合它的四条边以检测出4个角点。

图12所示为存储在 QR Code 中的二维栅格地图。

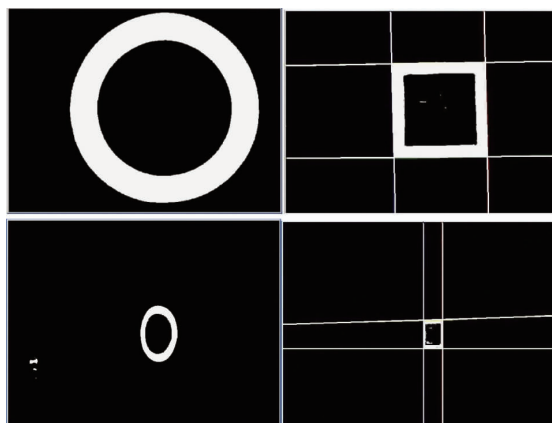


图 11 人工地标的矩形框角点提取



图 12 QR Code 人工地标视觉伺服识读

机器人检测出矩形框的角点后,即可结合 QR Code 人工地标外围模式的 3D 信息完成人工地标的定位,继而采用 3.3 节设计的视觉伺服逼近控制律控制机器人逼近人工地标。机器人成功逼近人工地标后,继续采用 look-and-move 的开环控制方式控制机器人运动到期望位姿,最终完成对 QR Code 人工地标中存储的局部导航栅格地图的识读。

5 结 论

本研究为了将知识与智能分布到环境中,设计了一种基于 QR Code 的新型人工地标,并实现了人工地标的快速定位与移动机器人对其内部存储信息的视觉伺服识读。本工作有如下特点:

(1) 新型人工地标存储了环境的语义地图和局部导航地图,同时其外围标识又便于识别,能够为移动机器人提供准确的位姿信息。

(2) 针对世界平面的单应分解所得到摄像机位姿的二义性,通过引入一个简单的约束,将其予以消

除。

(3) 将移动机器人抽象为一个 3 自由度的广义机械臂,并建立了运动学模型和微分运动模型,为移动机器人的控制提供了更宽的思路。比如,一个搭载 n 自由度机械臂的移动机器人,完全可以视为一个 $n+3$ 自由度的广义机械臂。

(4) 提出了一种简单易行的服务机器人机载摄像机的外参数标定方法。

QR Code 技术可以将能够对移动机器人提供支持的诸多信息“分布”到环境中去,协助机器人实现对一个陌生环境的感知学习和完成相应的服务任务,有效解决了许多依赖机器人自身无法解决的难题。在 QR Code 技术支持下,移动机器人自主、精确、稳定地为人提供各种服务成为了可能。

参考文献

- [1] Johanson B, Winograd T, Fox A. Interactive workspaces. *Computer*, 2003, 36(4):99-101
- [2] Niitsuma M, Hashimoto H. Spatial memory as an aid system for human activity in intelligent space. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2007, 54(2):1122-1131
- [3] 田国会, 李晓磊, 赵守鹏等. 家庭服务机器人智能空间技术研究与进展. *山东大学学报(工学版)*, 2007, 37(5):53-59
- [4] 薛英花, 田国会, 周凤余等. 智能空间中的服务机器人物品搜寻与操作. *高技术通讯*, 2012, 22(1):74-81
- [5] 宋保业, 田国会, 周凤余. 智能空间中的环境自适应 RSSI 定位. *高技术通讯*, 2012, 22(10):1083-1089
- [6] Lin C, Tummala R. Mobile robot navigation using artificial landmarks. *Journal of Robotic Systems*, 1997, 14(2):93-106
- [7] Jang Gijeong, Kim Sungho, Lee Wangheon, et al. Color landmark based self-localization for indoor mobile robots. In: *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Washington, USA, 2002 (1):1037-1042
- [8] Lerner R, Rivlin E, Shimshoni I. Landmark selection for task-oriented navigation. *IEEE Transactions on Robotics*, 2007, 23(3):494-505
- [9] Zitova B, Flusser J. Landmark recognition using invariant features. *Pattern Recognition Letters*, 1999, 20(5):541-547
- [10] Scharstein D, Briggs A J. Real-time recognition of self-similar landmarks. *Image and Vision Computing*, 2001, 19(11):763-772
- [11] Ni L M, Liu Y H, Lau Y C, et al. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. In: *Proceedings of the*

- First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. Fort Worth, USA, 2003. 407-415
- [12] Kamol P, Nikolandis S, Ueda R, et al. RFID based object localization system using ceiling cameras with particle filter. In: Proceedings of the 2007 International Conference on Future Generation Communication and Networking. Jeju Island, Korea, 2007(2):37~42
- [13] 赵守鹏,田国会,李晓磊. 基于单个人工地标的机器人自主定位. 山东大学学报(工学版), 2007, 37(4):39-44
- [14] 吴皓,田国会,薛英花等. 基于 QR code 技术的家庭半未知环境语义地图构建. 模式识别与人工智能, 2010, 23(4):464-470
- [15] 穴洪涛,田国会,李晓磊. QR Code 在多种类物体识别与操作中的应用. 山东大学学报(工学版), 2007, 37(6):25-30
- [16] Li G D, Tian G H, Xue Y H. Research on QR code-based visual servoing handling of room service robot. *Journal of Southeast University*, 2010, 40:30-36

Design, localization and recognition of the QR code-based artificial landmark in service robot intelligent space

Li Guodong^{* **}, Tian Guohui^{*}, Wang Hongjun^{**}, Zhou Fengyu^{*}, Wu Hao^{*}

(^{*} School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061)

(^{**} School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100)

Abstract

The design, localization and visual servo recognition of the QR code-based artificial landmark in service robot intelligent space were investigated. Firstly, a new kind of artificial landmark based on the QR code technique was designed, and the decomposition of homography from a world plane was adopted to acquire the position and pose (relative to the landmark frame) information of the camera on a service robot. Then a kinematic model for mobile robots was constructed, and a convenient method was used to calibrate the camera's extrinsic parameters relative to the mobile robot frame. Finally a position-based visual servoing recognition algorithm was deduced to control mobile robots to finish the recognition of the environmental information stored in QR Code landmarks. The experimental results showed that the artificial landmark designed in this study had the farther recognition distance and the higher positioning accuracy, and the control scheme was simple but efficient.

Key Words: visual servo, extrinsic parameter calibration, QR code, service robot intelligent space