基于多传感器的移动机器人避障①

Obstacle Avoidance of Mobile Robot Based on Multi-Sensors

杨东勇　徐克立　(浙江工业大学 软件学院 浙江 杭州 310023)

摘　要： 提出了一种视觉传感器和红外线测距传感器相结合来实现移动机器人在不确定环境中自主避障的方法。首先对视觉传感器采集的图像使用光流法提取障碍物信息，再结合红外线测距传感器反馈的距离信息，然后通过避障策略实现移动机器人的避障。实验结果验证了该避障方法的良好性能。

关键词： 移动机器人 多传感器 光流法 红外线测距 避障策略

1　概述

移动机器人在特定环境里的避障问题已经得到了较好的解决，但是在不确定环境中的避障问题，仍然是移动机器人领域的一大难题。

单纯的依靠视觉传感器的移动机器人避障方法[1,2]，探测范围比较广，但若利用单目视觉则由于只能获取二维的图像信息，无法提取障碍物的深度信息。若利用双目视觉，则计算繁杂，实时性差[3]。

单纯的依靠测距传感器的移动机器人避障方法[4,5]，探测范围十分有限，很难只凭测距传感器对避障路径进行优化。

本文把单目视觉和红外线测距传感器相结合，利用了两者的优点，更好地完成移动机器人的避障。首先是采用光流法对获取的图像序列信息进行处理，得到机器人前方障碍物的信息，然后结合红外线测距传感器反馈的障碍物距离信息，使用避障策略来实现移动机器人的避障。此方法比仅仅依靠视觉传感器或者仅仅依靠测距传感器的方法性能都要高。

2　光流法获取障碍物信息

场景中景物的运动会导致运动期间所获得的图像中景物处在不同的相对位置，这种位置上的差别称为视差，它对应景物运动反映在图像上的位移矢量。如果用视差除以时差，就得到速度矢量。图像中的所有速度矢量构成一个矢量场，也称为光流场。光流可以看作带有灰度的像素点在图像平面运动产生的瞬时速度场。

假设图像上某一点(x,y)在 t 时刻的灰度值为 f(x,y,t)。则光流约束方程[6]可以表示为：

$$\frac{\partial f}{\partial x}\bullet u+\frac{\partial f}{\partial y}\bullet v+\frac{\partial f}{\partial t}=0 \tag{1}$$

其中，u=dx/dt，v=dy/dt。u 和 v 分别为图像点在 X 和 Y 方向的移动速度，(u,v)即该点的光流。为了求解光流(u,v)需要其他的约束方程以联立求解。本文中利用最小二乘法估计光流。记：

$f_x=\partial f/\partial x$, $f_y=\partial f/\partial x$, $f_t=\partial f/\partial t$，在实际中 f_x，f_y，f_t 可用沿时间方向的一阶差分平均值来估计。

在连续两幅图像 f(x,y,t)和 f(x,y,t+1)上取具有相同 u 和 v 的同一个目标上的 N 个不同位置的像素，以，，分别表示在第 k 个位置对 f_t，f_x，f_y 的估计(k=1,2,…，N)，记

$$f_t=\begin{bmatrix}-\hat{f}_t^{(1)}\\-\hat{f}_t^{(2)}\\\vdots\\-\hat{f}_t^{(N)}\end{bmatrix}\qquad F_{xy}=\begin{bmatrix}\hat{f}_x^{(1)} & \hat{f}_y^{(1)}\\\hat{f}_x^{(2)} & \hat{f}_y^{(2)}\\ & \vdots\\\hat{f}_x^{(N)} & \hat{f}_y^{(N)}\end{bmatrix} \tag{2}$$

则对 u 和 v 的最小二乘估计为

$$[u\quad v]^T=(F_{xy}^TF_{xy})^{-1}F_{xy}^Tf_t \tag{3}$$

对计算得到的光流(u, v)，采用了光流平衡的障碍

① 基金项目:浙江工业大学-松下电器产业株式会社合作项目(2005[020])
收稿时间:2009-02-17

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

物检测策略[1]来确定机器人前方的障碍物信息。由于机器人前方近处的物体和远处的物体相比，随着机器人(摄像机)的前行，其反应在图像上灰度变化更大，即产生的光流更大。因此可以分别计算机器人前方左右两侧各像素点的光流矢量模的和，等价于计算左右两侧光流矢量模的和之差：

$$\Delta(F_L-F_R)=\frac{\sum\left|\vec{W}_L\right|-\sum\left|\vec{W}_R\right|}{\sum\left|\vec{W}_L\right|+\sum\left|\vec{W}_R\right|} \quad (4)$$

其中 Δ(FL−FR)是左右光流差，$\sum\left|\vec{W}\right|$是机器人前方某一侧的光流矢量模的和。当 Δ(FL−FR)0，左侧障碍物比较密集；当 Δ(FL−FR)<0，右侧障碍物比较密集。

3 避障策略

避障策略的输入为红外线测距传感器反馈回的障碍物距离，通过避障规则表输出为移动机器人的行为(前进或旋转)。其中避障规则表中的部分规则要根据上一节中光流法给出的障碍物信息来建立。

本文引入隶属度法[7]来定义集合。如对集合 A，该方法引入了集合A的隶属度函数，用表示，它是[0,1]上的一个连续函数，反映了论域中的元素 x 属于集合 A 的程度，若隶属度接近 1，表示 x 属于 A 的程度高，若隶属度接近 0，表示 x 属于 A 的程度低。

3.1 避障策略的输入

红外线测距传感器的测距范围为 20～150cm，波束角大概是 20 度，移动机器人上摆放了两个红外线测距传感器，两个红外线测距传感器大致成 20 度角，朝前方。避障策略的输入参数为两个红外线测距传感器反馈回的距离信号，分别代表左边障碍物的距离信息和右边障碍物的距离信息。障碍物距离信号的集合为：{近(near)，中(mid)，远(far)}。

输入隶属度函数如下图 1 所示，图中横坐标为距离信号，纵坐标是隶属度。为了计算方便，采用了线性隶属度函数，提高数据处理速度，增强系统的实时性。

3.2 避障策略的输出

避障策略的输出为移动机器人的行为，即前进或旋转，集合为：{左转(TL),微左转(TLL),前进(GO),微右转(TRL),右转(TR)}。隶属度函数如图 2 所示，横坐标为旋转的角度大小，向右为负方向，向左为正方向。

3.3 避障规则表

本文中的避障规则是根据前面光流法得出的结果和红外线测距传感器获得的结果给出的，如表 1 所示。

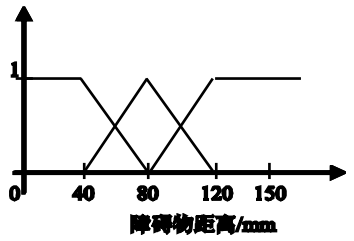

图 1　输入隶属函数图

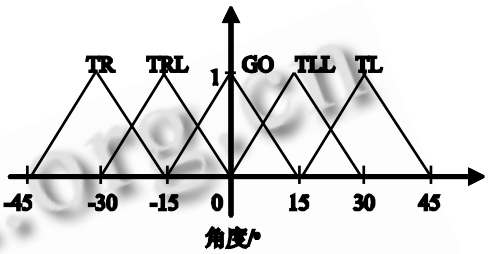

图 2　输出隶属函数图

表 1　避障规则表

DL / DR	near	mid	far
near	optical	TR	TRL
mid	TL	optical	TRL
far	TLL	TLL	GO

表 1 中的 optical 表示方向由第 2 节中的光流法的结果给出：

当 Δ(FL−FR)0，左侧障碍物比较密集，应该向右转，即表格中的 optical 应为 TR。

当 Δ(FL−FR)<0，右侧障碍物比较密集，应该向左转，即表格中的 optical 应为 TL。

3.4 反模糊化

表 1 中给出的控制量不是清晰的数字量，不能用来对精确的模拟或者数字系统进行控制，所以要把这些控制量非模糊化，转换成精确量才能执行，这个过程称为反模糊化。本文中采用中心平均解模糊器来反模糊化。相对于重心解模糊器，它计算简便，直观合理。如下所示：

$$y=\frac{\sum_{l=1}^{M}\overline{y^l}w_l}{\sum_{l=1}^{M}w_l} \quad (5)$$

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn

4　实验结果

本文实验中使用的是基于 Panasonic AM1 单片机的 T-Robot 差分式移动机器人，如图 3 所示。由于该移动机器人上的资源比较有限，本人在移动机器人上安放了一块 ARM 板，与机器人之间由 RS232 相连接，在 ARM 板上安装 USB 摄像头和 USB 无线网卡，可以实现视频图像的采集和传送以及网络控制命令的传送。

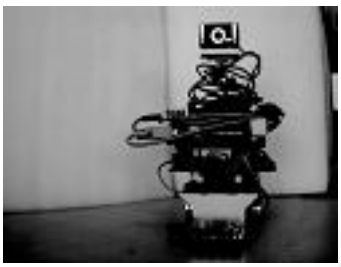

图 3　移动机器人示意图

移动机器人实验的环境为实验室内，为了使实验结果有对比，同时给出了仅仅依靠红外线测距传感器避障的实验结果。如图 4，5 所示。

图 4　左右图均为仅仅依靠红外线测距传感器避障

图 4 中的左图为仅仅依靠红外线测距传感器的避障结果，避障规则表中的由光流确定旋转方向的两个 optical 分别为 TL 和 GO，路径长 2.78m。右图为仅仅依靠红外线测距传感器的避障结果，避障控制规则表中的由光流确定旋转方向的两个 optical 分别为 TR 和 GO，路径长 3.46m。图中虚线即移动机器人的前行路径。

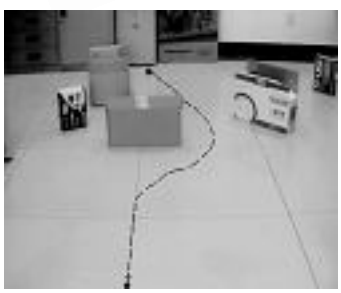

图 5　光流法结合红外线测距传感器避障

图 5 为光流法提供的障碍物信息结合红外线测距传感器的避障结果，避障规则表中的两个 optical 由光流法确定，避障路径长 2.32m。图中虚线即移动机器人的前行路径。

通过对比结果，光流法结合红外线测距传感器的避障方案，选择的避障路径比仅仅依靠红外线测距传感器避障的方案要短，路径更合理。

5　结语

本文阐述了一种单目视觉结合红外线测距传感器共同避障的策略，对采集的图像序列信息使用光流法处理，获得移动机器人前方障碍物的信息，然后结合红外线测距传感器反馈的障碍物距离信息，使用避障策略实现移动机器人的避障。通过实验证明该策略相对于仅仅使用红外线测距传感器的策略，选择的避障路径更短，更合理。

而对于仅仅依靠光流法提供的信息避障的策略(文献[1]使用的方法)，则要求光照比较稳定，因为有可能引起图像灰度变化的是光照的明暗变化引起的，这在文献[1]中已有提到。然而本文的方法加入了测距传感器反馈的障碍物信息，在一定程度上削弱了这种可能性。因此比单一的依靠光流法避障的可靠性要高。

参考文献

1 Souhila K, Karim A. Optical flow based robot obstacle avoidance. International Journal of Advanced Robotic Systems , 2007,4(1):13 – 16.

2 Gini GC, Marchi A. Indoor robot navigation with single camera vision. Pattern Recognition in Information Systems,2002,8(1):67 – 76.

3 刘先愿,赵学敏,李岩,等.基于多传感器的移动机器人路径规划.计算机工程, 2008,34(8):213 – 215.

4 张幼明,尹怡欣.基于非线性函数的移动机器人模糊避障算法.计算机应用研究, 2007,24(11):88 – 89,92.

5 江贵龙,金祥克,胡旭东.基于模糊算法的移动机器人导航.机电工程, 2006,23(2):53 – 55.

6 Nara S, Takahashi S. Obstacle Avoidance Control for Mobile Robots based on Vision. Masami Namiki, ed.SICE-ICASE International Joint Conference 2006. Piscataway:IEEE Press, 2006:5335 – 5338.

7 Mester G. Obstacle Avoidance of Mobile Robots in Unknown Environments. IEEE SMC, ed. 5th International Symposium on Intelligent System and Informatics. Piscataway:IEEE Press, 2007:123 – 127.

© 中国科学院软件研究所 http://www.c-s-a.org.cn