

基于同时发射声纳环移动机器人导航系统

谢昭贤¹, 黄大贵¹, 明爱国², 李智军², 下条诚²

(1. 电子科技大学机械电子工程学院 成都 610054; 2. 电气通信大学智能机械工学科 东京 182-8585)

【摘要】开发了一种能在未知环境下实现快速障碍检测与障碍回避的基于同时发射声纳环移动机器人导航系统。为了消除由于同时发射造成的串话干扰,提出了一种基于神经网络模式识别的过滤方法;并制作了由24个声纳传感器组成的声纳环安装到实际的移动机器人上,实现了扫描频率最大可达到66 Hz的全景检测。系统中应用了动态窗口法来完成快速障碍回避的运动规划。实际的导航实验表明,系统可用于室内未知环境中的移动机器人快速导航。

关键词 串话干扰; 移动机器人导航; 障碍回避; 障碍检测; 同时发射; 声纳环

中图分类号 TP242.6

文献标识码 A

Navigation System for Mobile Robot Based on Simultaneous-Firing Sonar Ring

XIE Zhao-xian¹, HUANG Da-gui¹, MING Ai-guo², LI Zhi-jun², MAKOTO Shimojo²

(1. School of Mechatronics Engineering, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054;

2. Department of Mechanical Engineering & Intelligent Systems, The University of Electronic-Communications, Tokyo 182-8585)

Abstract A navigation system for mobile robot based on simultaneous-firing sonar ring is developed. To eliminate error data due to crosstalk in the simultaneous firing, a filter method based on pattern matching using neural network is used in the system. To show the advantage of this method, a prototype of sonar ring with 24 sonar sensors is fabricated and installed to a mobile robot. As a result, a scanning rate up to 66 Hz of panoramic detection is achieved. The experimental results show that the navigation system is applicable to rapid navigation for mobile robot in unknown indoor environments.

Key words crosstalk; mobile robot navigation; obstacle avoidance; obstacle detection; simultaneous firing; sonar ring

对工作于动态或未知环境中的自主移动机器人来说,障碍回避,即基于传感器的导航,是其最主要的基本任务之一。声纳,也称超声传感器,由于其价格便宜并具有良好的测距性能,是商业化的室内机器人和研究用机器人最常用的传感器之一。在移动机器人的应用中,由多个声纳排成队列,通常是组成声纳环,被用来获取移动机器人周围的全景信息。

利用声纳环进行导航需要解决的主要问题是邻近声纳传感器间串话干扰对扫描频率的限制。到目前为止,研究人员提出了很多方法来解决这个问题,可归纳为两类:(1)使用无规则发射(Irregular Firing)的方法来避免串话干扰的出现。如文献[1]提出了EERUF快速超声发射方法,使得单独的声纳可以去除串话干扰,并实现了5~16 Hz的全景扫描。但是,

这样的频率还不足以满足目前移动机器人高速导航的要求。(2)使用同时发射(Simultaneous Firing)的方法来完成一些有限的功能。如文献[2]应用了同时发射于一种快速移动机器人上来检测当高速运动时其轨迹上是否存在障碍物,一旦检测到有障碍物则将发射模式切换为依次发射(Sequential Firing)。

文献[3]提出的DDM方法是一种实现障碍回避的典型方法,但由于该方法很耗费时间,不适于应用于具备高扫描频率的导航系统中。文献[4-7]提出的方法中,导航系统采用了动态窗口法(Dynamic Window Approach, DWA)。这是考虑到该避障方法具有明了的物理意义表达,并能一步就快速计算出移动机器人的旋转速度和直线速度,从而能最大限度地发挥系统中高扫描频率声纳环的优势。为了实现同时发射声纳的通用化,本文提出了一种基于神

收稿日期:2005-03-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60572007);教育部博士点基金资助项目(20040614004)

作者简介:谢昭贤(1979-),男,硕士,主要从事智能机电系统、移动机器人导航与控制方面的研究。

经网络模式识别的串话干扰去除方法,并将其实际应用到一个由24个声纳传感器组成、在2.5 m范围内能达到66 Hz扫描频率的声纳环障碍检测系统中。该检测系统是本文提出的快速移动机器人导航系统的关键组成。

1 串话干扰及其去除方法

在系统中,当声纳环上的所有传感器同时发射超声波信号后,每一个接收器会接收到多个目标的反射回波,从而测得多个距离数据。这些数据包括了多个目标形成的正确数据和由串话干扰造成的错误数据。串话干扰指的是声纳环上的传感器同时发射声波后,接收声纳接收到了其他声纳发出的声波,无法区分是否自己发出的声波而造成的误差。为了检测障碍物,所有的错误距离数据必须去除。

图1所示为单目标的串话干扰基本模型。通过观察多个相邻接收器所检测的距离差别与发出声波的发射器所处位置之间的关系,可得到如图2所示的标准化曲线。图2中曲线的最小值对应于目标的正确距离数据,其他距离数据为由于串话干扰而被其他接收器接收到的错误距离数据,其中 $\Delta(\theta_i) = r_i - d$ 。

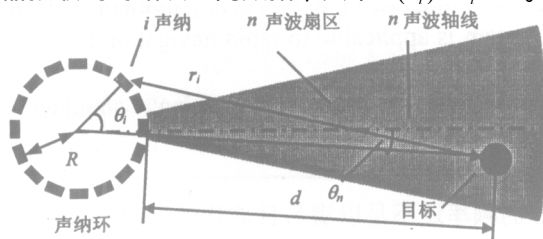


图1 串话干扰模型图

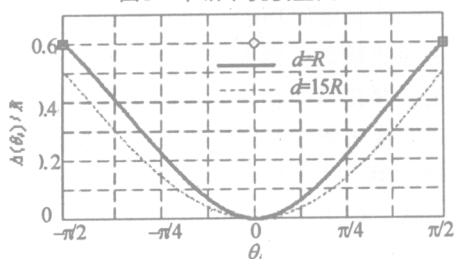


图2 对单目标不同接收器的数据差别

对一个特定的参考数据来说,为了根据图2所示的曲线来识别其是否为正确数据,需要得到一组相邻传感器的距离数据。因此,通过一个“X”形状的距离掩膜来提取相对于同一目标的一组相邻传感器的距离数据^[8]。为了简化神经网络的训练,数据的识别分为两步完成:(1)参考数据单侧的数据被输入到一个三层BP神经网络中,经过推断得出相对于参考点来说是“上部”、“下部”或“空”;(2)两侧的结果被输入到另一个三层BP神经网络中推断出

最终结果,即“正确”或“错误”。当系统从一次全景扫描获得数据后,先从每个声纳传感器的最短读数开始,数据识别被循环进行直到发现第一个正确数据为止;然后将剩下的所有数据设定为错误数据。

2 动态窗口法

动态窗口法是一种基于传感器的避障方法,它把移动机器人看成一个动态实体,并考虑到了差分或单轮驱动机器人快速移动时所受的运动学与动力学约束^[4]。该方法的主要思想在于把导航任务看成在机器人速度空间的函数优化问题,从中找出那些使得在某些设定条件下能取得最大效用的速度来驱动机器人进行导航。考虑到机器人的运动学约束,优化过程是通过直接搜索机器人的速度空间 V_s 来完成的。该空间由机器人能达到的速度对 (v, ω) 组成,其中, v 为直线速度; ω 为旋转速度。在所有的速度对中,只有那些在当前位置、当前速度和机器人加速能力条件下使得碰撞不会发生的速度对才会被选中。这些速度对被称为许可速度 V_a ,其定义为:

$$V_a = \{(v, \omega), (v - \sqrt{2\text{dist}(v, \omega)\alpha_b}), (\omega - \sqrt{2\text{dist}(v, \omega)\alpha_b})\} \quad (1)$$

式中 函数 $\text{dist}(v, \omega)$ 表示在由速度对 (v, ω) 所确定曲线段上的距离,可由 $r\gamma$ 来计算, $r = v/\omega$ 为圆弧轨迹的半径, γ 为一个如图3上所定义的角度; α_b 和 α_b 分别为刹车用加速度和角加速度。

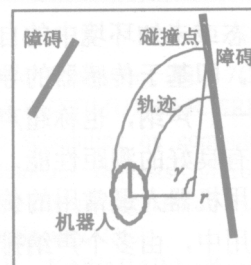


图3 $\text{dist}(v, \omega)$ 的计算

通过引入由机器人动力学限制、当前速度及其加速能力所确定的长方形动态窗口,可以把搜索空间限定为机器人在下一小段时间间隔内能达到的速度。动态窗口定义为:

$$V_d = \{(v, \omega) | v \in [v_c - a_{\max} \Delta t, v_c + a_{\max} \Delta t] \wedge \omega \in [\omega_c - \alpha_{\max} \Delta t, \omega_c + \alpha_{\max} \Delta t]\} \quad (2)$$

式中 (v_c, ω_c) 为当前速度对; $(a_{\max}, \alpha_{\max})$ 为该间隔内的最大加速度和角加速度; Δt 为时间间隔。

下一步的运动控制命令将从由动态窗口中的所有许可速度对形成的速度搜索空间 $V_r = V_s \cap V_a \cap V_d$ 中来确定;而使得由三个描述不同指标的子函数所

组成的目标函数获得最大值的速度对将被确定为下一步的运动控制命令。目标函数定义为：

$$G(v, \omega) = \max(\alpha \text{head}(v, \omega) + \beta \text{dist}(v, \omega) + \delta \text{velo}(v, \omega)) \quad (3)$$

式中 子函数 $\text{head}(v, \omega) = 1 - |\theta|/\pi$ ，描述了机器人运动方向与目标位置方向的一致程度， θ 为运动方向与目标位置方向之间的夹角；子函数 $\text{velo}(v, \omega) = v/v_{\max}$ 描述了机器人在某一速度对确定的圆弧轨迹上的前进程度。组成目标函数的三个子函数通常被归一化到区间[0,1]；而参数 α 、 β 和 δ 用来对三个子函数进行加权，改变它们的取值可以调整机器人的行为。

3 导航系统

3.1 声纳环检测系统

本系统选用了24个Polaroid 6 500系列的超声测距模块来组成声纳环，环状配置像极坐标扫描一样可以覆盖移动机器人周围360°，模块间的连接如图4所示。图中，同时发射电路、距离测算电路和次序控制电路用PLD制作完成。为了精确地同时发射所有声纳传感器，同一激发脉冲系列被发送到所有测距模块的放大器来产生波形，再由模块上的变换器薄膜发出声波。为了高速采集数据，同时使用了两个并行I/O口来记录被触发接收器的编号及相应的距离。另外，为了缩短声纳传感器的最小检测距离，实际测算了每个声纳的薄膜振动衰减时间实验表明传感器的内部消隐时间可从2.38 ms减少为0.6 ms而不影响可靠性，从而可在本系统中实现0.05 m的最短检测距离。

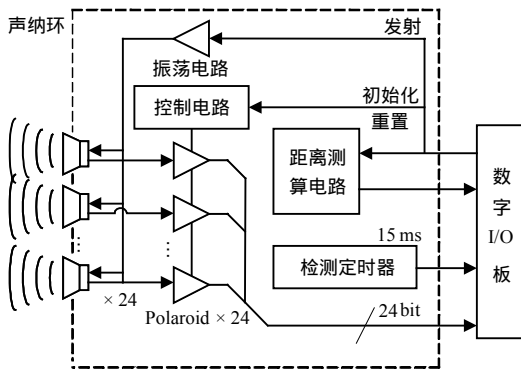


图4 声纳环内部连接图

3.2 导航系统配置与导航流程图

完整的导航系统由声纳环和移动平台组成，如图5所示。为了保证价格低廉、界面友好并具有良好的扩充性能，系统采用了插件式计算机，其CPU为600 MHz；而导航系统的移动平台则采用了两轮独

立驱动方式。导航任务的流程图如图6所示。主循环包括了利用两个中断循环完成障碍检测和利用动态窗口法计算出下一步驱动速度实现障碍回避。检测中断每15 ms(66 Hz)执行一次，而数据采集中断由一个来自被触发接收器的中断信号激发。

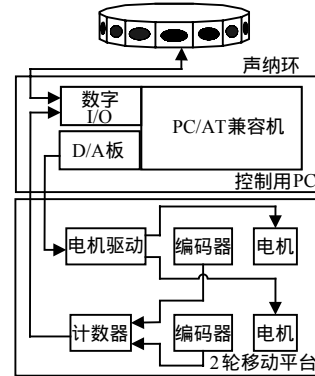


图5 导航系统配置

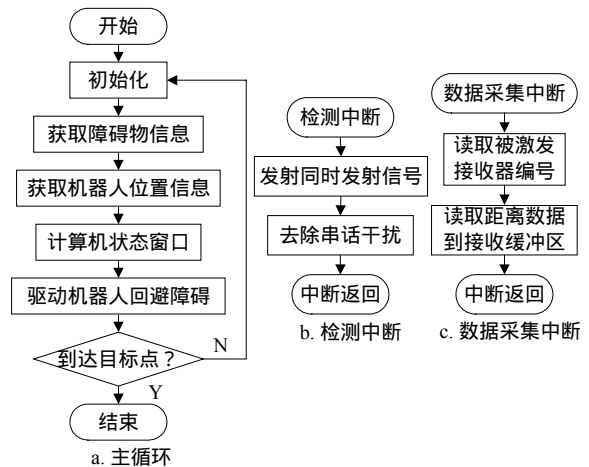


图6 导航流程图

4 实验结果

为了测试本系统的实用性，在室内未知环境下对移动机器人进行了多次导航实验。本文给出其中一个典型的实验，如图7所示。多根直杆密集地竖立在走廊上，机器人必须回避障碍物才能达到前方的目标位置。实验中机器人的最大速度为1 000 mm/s， α 、 β 和 δ 取值分别为0.8、0.1和0.1。在整个导航过程中，机器人以高达890 mm/s的平均速度快速移动，平滑地回避所有竖立杆并最终到达了设定的目标位置。系统采用了同时反射模式来驱动声纳环上的全部声纳，对串话干扰进行建模并在此基础上对串话干扰进行识别和去除，使得声纳环的全景扫描频率达到了66 Hz，这是其他采用声纳环移动机器人导航系统全景扫描频率的3~4倍^[4,6-7]，也是本文系统的优势所在。

(下转第321页)

上,企业物流服务水平博弈分析是一类有无限个局中人参与的重复博弈,本文为了简化起见,特取两类物流服务水平进行博弈。这是一个典型的将多目标决策问题转化为博弈论方法进行研究的例子。通过博弈选择,可以得到对应多目标决策问题的博弈解,而企业决策者作为局外人要做的是根据客户的偏好与效用情况,从博弈解中选取满意解。

参 考 文 献

- [1] 许广义, 赵继伟. 物流服务及其效益分析[J]. 物流科技, 2003, (3): 9-11.
- [2] VAIDYANATHAN J, RAJESH S. A service logistics model for simultaneous siting of facilities and multiple levels of equipment[J]. Location Science, 1996, 4(4): 282.
- [3] JANNE H, TIMO P. Sharpening logistics customer service strategy planning by applying Kano's quality element classification[J]. International Journal of Production Economics, 1998, 56(9): 253-260.
- [4] HWANG Heung-suk. Design of supply-chain logistics

- system considering service level[J]. Computers and Industrial Engineering, 2002, 43(1): 283-297.
- [5] TIMO P, JANNE H. A framework for cost-service analysis in differentiation of logistics services[J]. International Journal of Production Economics, 1996, 45(9): 131-137.
- [6] JOHN T E, ZENG Amy-zhaohui. Estimating the effects of carrier transit-time performance on logistics cost and service[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 1998, 32(2): 89-97.
- [7] 兰永红. 物流定价博弈分析[J]. 物流科技, 2004, (1): 42-44.
- [8] 何云, 田宇. 顾客导向的物流服务质量模型及其应用[J]. 物流技术, 2004, (2): 11-13.
- [9] 田宇, 张戈玲. 逆向选择与物流服务承诺[J]. 中国流通经济, 2002, (1): 48-51.
- [10] 田宇, 彭建平. 合作物流服务网络形成的动力机制分析[J]. 商业经济文荟, 2002, (5): 40-42.
- [11] 姜青舫, 姜树元. 同类异质产品市场博弈Nash均衡最优策略模型[J]. 中国管理科学, 2003, (4): 69-72.

编辑 熊思亮

(上接第311页)



图7 室内未知环境下移动机器人的快速导航

5 结 束 语

本文提出了一种基于同时发射声纳环的移动机器人导航系统,给出了在室内未知环境下实现快速障碍检测并回避的实用方法。同时发射声纳环使得移动机器人周围的全景扫描频率提高到了66 Hz,从而可以突破移动机器人在室内未知环境甚至是动态环境下高速移动的一个主要限制。实际的导航实验表明,该导航系统适用于未知环境下的移动机器人快速导航。

参 考 文 献

- [1] BORENSTEIN J, KOREN Y. Error eliminating rapid

- ultrasonic firing for mobile robot obstacle avoidance[J]. IEEE Trans. on Robotics & Automation, 1995, 11(1): 132-138.
- [2] NOVALES C, PATROUX O, ZAPATA R, et al. An ultrasonic aerial to control the reactive behaviors of fast mobile robots[C]//In: Proc. of International Symposium on Signal Processing. [地址不祥]: IEEE, 1994: 353-358.
- [4] FOX D, BURGARD W, THRUN S. The dynamic window approach to collision avoidance[J]. IEEE Robotics and Automation Magazine, 1997, 4(1): 23-33.
- [5] BORENSTEIN J, KOREN Y. The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots[J]. IEEE Trans. on Robotics & Automation, 1991, 7(3): 278-88.
- [6] SIMMONS R. The curvature-velocity method for local obstacle avoidance[C]//In: Proc. of IEEE ICRA. [地址不祥]: IEEE, 1996: 3375-3382.
- [7] PHILIPPSEN R, JENSEN B, SIEGWART R. Smooth and efficient obstacle avoidance for a tour guide robot[C]//In: Proc. Of IEEE ICRA. [地址不祥]: IEEE, 2003: 446-451.
- [8] MASEK V, KAJITANI M, MING A, et al. Fast mobile robot obstacle detection using simultaneous firing of sonar ring sensors[J]. Int. Journal of JSPE, 1998, 32(3): 207-212.

编辑 孙晓丹