

文章编号: 1002-0446(2003)04-0378-07

中型自主式足球机器人平台设计回顾*

罗真¹, 曹其新¹, 陈卫东²

(1. 上海交通大学机器人研究所 上海 200030; 2. 上海交通大学自动化研究所 上海 200030)

摘要: 本文回顾了中型自主式足球机器人平台的当前国际研究现状, 对平台的系统构成、运动机构、护球踢球机构、传感器等的各种设计方案进行了分析, 为开发自主式移动机器人平台提供一个参考

关键词: 自主式足球机器人; 运动系统; 踢球机构; 传感器

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

REVIEW ON THE DESIGN OF MIDDLE SIZE SELF-DETERMINED SOCCER ROBOT

LUO Zhen¹, CAO Qi-xin¹, CHEN Wei-dong²

(1. *Research Institute of Robotics, Shanghai Jiaotong University, 200030;*

2. *Institute of Automation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China*)

Abstract: This paper reviews the state of the art of the middle size self-determined soccer robot platform. It analyses the different design styles of system structure, motion system, kicking system and sensors, and provides a reference for future development

Keywords: self-determined soccer robot, motion system, kicking device, sensor

1 引言 (Introduction)

自 1992 年艾伦·麦克沃斯 (Alan Mackworth) 教授第一次提出机器人踢足球的想法以来, 机器人足球比赛吸引了大量的关注和研究投入, 每次机器人足球世界杯比赛 (RoboCup) 都获得了全球性的关注。如今, 机器人足球世界杯是国际上一项重要的创造性的研究和教育活动, 它通过提供一个涉及多种技术的标准问题来鼓励开展人工智能和智能机器人技术的研究。对于一支要完成足球比赛的机器人队伍来说, 涉及到的技术包括: 自动智能体的设计原理、多智能体合作、策略获取、实时推理、机器人学、传感器信息融合等^[1]。

机器人足球世界杯也吸引了国内的机器人学界的极大关注及投入。其中, 因中型组具有与小型组、仿真组不同的特性, 使得其在研究自主式移动机器人技术方面有独特的优势; 它正吸引着国内有条件的单位越来越多的研究投入, 如上海交通大学、中科

院、同济大学、东北大学等单位。目前, 上海交通大学已开发完成了最早公开露面的完全由国内自主设计开发的中型自主式足球机器人平台; 可贵的是, 以此为基础组成的机器人足球队首次公开亮相就在 2002 年的“中国第四届机器人大赛”中战胜了以进口机器人为基础组成的队伍, 获得了冠军。

设计良好的中型自主式足球机器人平台不仅仅可用在面向足球机器人比赛方面的研究, 还可以用于其它多种研究, 如实时计算机视觉、日常应用中的多机器人协调等。目前上海交通大学正在开发的新的足球机器人在平台设计时就考虑了进行其它科学研究及教学的便利性需要。

2 系统组成 (System structure)

由于当前的技术水平的制约, 特别是计算机视觉和语音识别等技术水平的限制, 目前, 机器人还没有能力理解裁判、教练的意图, 使得机器人球队的

* 基金项目: 国家 863 计划 (2001AA 422140, 2001AA 422200) 项目资助

收稿日期: 2003-01-25

启、停等行为还得由人类队员来下指令执行。正因为这样,目前的中型组机器人球队还由系统管理员(监控站)和场上队员(踢球队员、守门员)组成,球队的典型组成如图 1 所示。

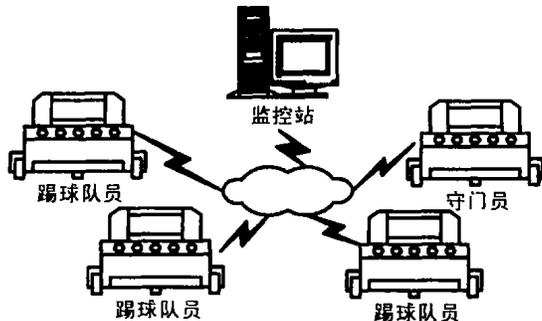


图 1 中型组机器人足球队组成示意图

Fig 1 Team of middle-size soccer robots

由于球队不仅仅由场上的机器人组成,还存在系统管理员(监控站),所以在早期就有队伍将处理决策功能分配给了监控站,这样的队伍不要求场上队员具有自主决策能力,相应也就降低了场上队员的平台技术要求。但这样的队伍的技术性能相对要低,在比赛中难以取得好成绩。所以现在的球队都由具有自主决策能力的机器人充当场上队员,虽然决策不见得是完全分布式的,由场上队员自个决定的。

要具有自主决策能力,必然要求机器人具有相当发达的“大脑”,换句话说,机器人必须具备功能强大的处理器系统。

对于足球比赛来说,若机器人队员不能获得场上的动态情况,是不可想象的,换句话说,球队必须装备传感器系统。中型组规则规定了不能在机器人之外的场地上安装传感器^[2,3],所以对于机器人系统来说,传感器系统是不可或缺的组成部分。

对于一个足球机器人来说,如果没有相应的执行机构,就不再是能够踢球的移动足球机器人了。足球机器人的执行机构包括运动机构、护球和踢球机构等。

监控站负责完成对场上队员的监控,这要求监控站和踢球队员之间必须具有显式的通信能力;此外,目前的技术水平还做不到通过手势之类的肢体语言等来在机器人之间隐式地传递信号,为了做好协调和合作,要求机器人具有显式的通信手段。由此可见,无线通信系统是目前自主式足球机器人必须具备的配置。

可见,自主式足球机器人平台应由处理器系统、传感器系统、执行机构和通信系统构成,图 2 所示。

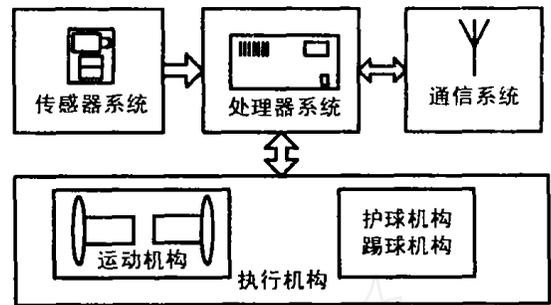


图 2 自主式足球机器人平台基本构成示意框图

Fig 2 Basic components of self-determined robot

3 运动系统(Motion system)

3.1 技术性能指标

在中型组机器人足球比赛中,场地尺寸在 $10\text{m} \times 5\text{m}$ 左右^[2,3],在这种场地里存在 8 个机器人,即平均 6 个平方米左右就有一个机器人,而且每个机器人的占地可达 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 。鉴于这种情况,机器人应该特别强调灵活性和控球能力。虽然速度是灵活性的一项指标,但并不需要很高的速度,实际上,机器人在高速移动带球的情况下转弯时容易丢球。

机器人的运动系统技术指标主要包括可靠性、速度、加速度、转弯能力等。因目前研制的足球机器人多为试验性质,在可靠性方面不严格且难以给出可靠性性能情况,普遍只有一个模糊的要求,即要求能保证比赛或实验的进行。至于转弯能力,不同的运动机构有不同的特点,很少有队伍给出明确的技术参数(A ttemp to 队^[13]给出了 2π 弧度/s 的转弯速度参数)。目前普遍给出的运动系统技术指标是最大速度和最大加速度,目前的情况是:最大速度一般约为 $1.5\text{m/s} \sim 2\text{m/s}$ 左右^[5,9,13,17,18,21,22],最大加速度约 $1\text{m/s}^2 \sim 2\text{m/s}^2$ 左右^[14,22,28],只有少数队伍的机器人具有较大最大速度和最大加速度^[11,23],如 Win Kit 队机器人的情况是 4m/s 和 4m/s^2 。

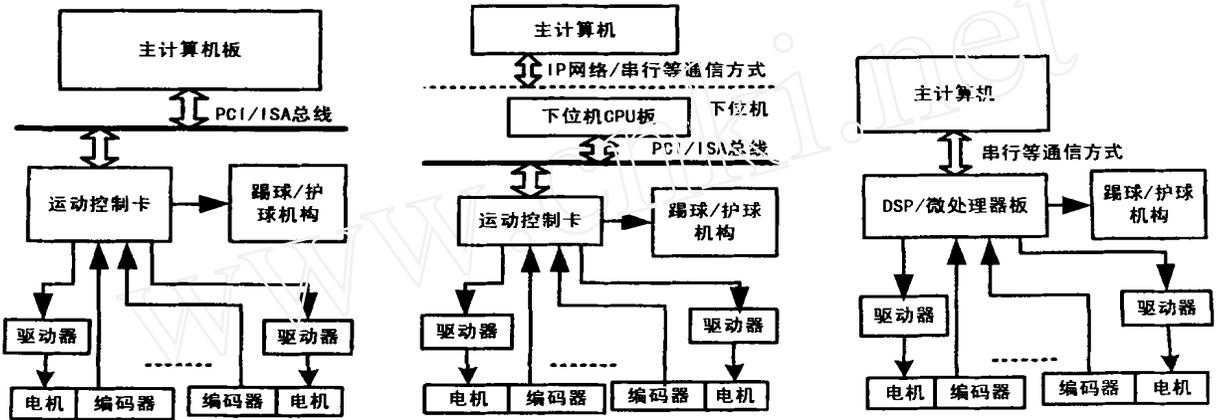
3.2 运动系统构成

机器人的运动系统的具体构成多种多样,各种各样的运动系统归纳起来主要可分为三种类型,如图 3 所示。在图 3(a)所示的方案中,机器人具有单一的高性能计算机系统,该计算机系统不仅用于系统决策规划,还通过运动控制卡负责控制机器人低层的行为。这种方式的优点是形式简单,但是,在这种方式中,由于计算机系统还需要处理对计算资源需求很大的环境建模(传感器信息处理、融合)、决策规划等问题,有可能会导导致机器人低层行为控制性能差的问题。另一方面,由于体积等的限制,这种方案

中的计算机系统一般用的是工控机,工控机的插槽资源很有限,运动控制卡往往得和图像采集卡等争插槽

图3(b)中,机器人同时具有“大脑”和“小脑”。“大脑”是一高性能的计算机系统,专司环境建模、决策规划等工作。“小脑”由一较低档的计算机充当,负责封装机器人的底层行为(如移动、转弯、踢球、护球

等)和某些传感器信息的预处理(如声纳、里程信息等)。“大脑”和“小脑”之间通过串行连接等方式进行通信。这种方案给了机器人构成上的灵活性,上位机的选用可以很灵活(如可临时使用笔记本等),去掉上位机,“小脑”还可起“大脑”作用,机器人仍能用来做许多移动机器人实验和进行教学活动



(a) 主机/运动控制卡方式

(b) 双计算机/运动控制卡方式

(c) DSP/微处理器板方式

图3 机器人运动系统分类

Fig. 3 Motion system of robot

图3(c)所示的方式中,由DSP板或微处理器板及驱动器负责机器人的底层行为控制。这种方案往往是自行开发底层控制软件乃至硬件。从硬件成本角度来说,有做到最低的可能;而且从开发角度来说,自主度和灵活性最高。但是采用这种方式,工作量一般来说是最大的。目前,因开展足球机器人活动本身有着培养人才和进行多种研究的性质,这种方式还颇受欢迎

3.3 运动机构方式

目前的中型自主式足球机器人的运动机构基本方式有两种:全向的和双轮差速的。这两种类型的机构各有优缺点,在实际比赛中,每种方式都有取得好成绩的队伍。除两种基本方式以外,还有可算是全向运动机构的准全向运动机构方式等

全向运动机构一般具有3个驱动电机^[10],3个驱动万向轮分布在等边三角形的顶点上,驱动轮的轴线交于等边三角形中心。另外,有一种比较复杂的实现方式是使用2个驱动轮,每个驱动轮受两个相互“垂直”的驱动电机控制,一个电机控制驱动轮的转动,另一个电机负责控制驱动轮的方向。还有一种方式是使用4个驱动万向轮^[6],一般地4个驱动轮

等分地位于一个圆上,驱动轮的轴线交于圆心;4轮结构对加工装配的精度要求较高,精度做得不好的话,或者地面不平的话,容易造成一驱动轮离地不起作用的现象^[27]。

双轮差速运动机构一般具有2个驱动电机,分别驱动左右两个驱动轮。该方式的运动机构还包含一个或两个随动角轮。在两驱动轮一角轮结构中,有时为了防止在加、减速或被撞击时倾倒,还加一个平时不着地的支撑轮。有的机器人还加了控制角轮方向的电机,但不多见。

总之,全向运动机构的灵活性要高一些,但全向运动机构的控制较为复杂;需要的驱动电机要多,自然硬件成本会较高;有一部分的能量消耗在电机之间的驱动相互抵消上了,故能量效率较低。与全向运动机构相比,双轮差速运动机构的缺点是转动灵活性较差。图4示意了两种运动机构的转动能力差别。

在某些时候,全向运动机构的较强的转动能力能增加胜算。比如在较慢速的带球进攻过程中,发现原定的射门方向已被守门员封死了,如果这时能迅速改变射门方向的话,自然能大大增加进球的可能性。有一种方案是机器人方向不变,通过改变护球踢

球方向来实现射门变向,但由于护球踢球机构的固有限制,这种方案并不是特别有效.通过迅速地使机器人绕球旋转来改变射门方向,能做到更有效.对于这点,双轮差速运动机构在实现上就比较困难了,全向运动机构实现比较容易.

不论是进行那种运动机构的设计,如何合理配

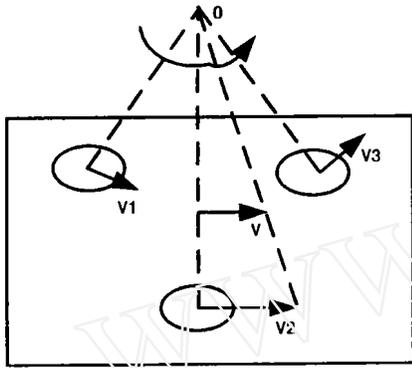


图 4(a) 全向运动机构转动轴心范围广

重是一个很关键的问题.它涉及到机器人的运动性能.特别是双轮差速运动机构,由于一般使用的角轮会引入控制上的扰动,使得驱动轮上的负载是变化的,进而会影响运动控制性能,更需要在配重上下功夫,以设法减少这种扰动的影响,提高运动性能.

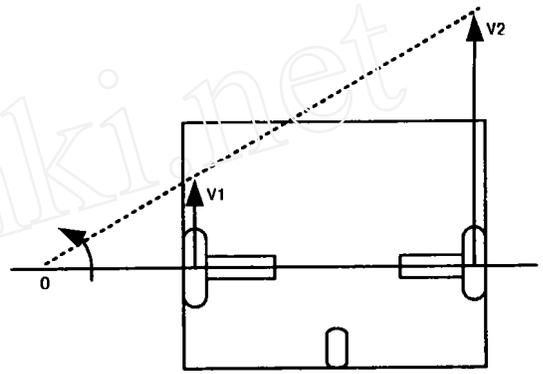


图 4(b) 双轮差速只能绕轴线上某点转动

Fig 4 Different turn capabilities of (a) omni-directional mobile system (b) two wheels mobile system

4 护球和踢球机构(Holding and kicking device)

各种机器人的踢球速度指标差别较大,速度高的可达 $8m/s^{[7]}$,低的在 $2m/s$ 左右^[9].对于踢球速度,比赛中在不同的情况下要求是不同的:比如在射门时,自然希望越快越好,快了,守门员难以及时反应,但在传球时,踢球速度又不能太高,高了难以实现平稳传球.踢球速度及控制是在设计踢球机构时需要认真考虑的问题.

4.1 护球机构和踢球机构的组合

护球和踢球机构是中型自主式足球机器人的关键组件之一,它们共同工作完成控球和进攻任务.图 5 示例了几种典型的护球机构和踢球机构的组合.

图 5(a) 所示的是一种没有专门踢球机构的方式.在此方式下,机器人通过躯体高速撞球然后减速急停实现踢球的目标.因无专门的踢球机构,机器人的进攻有效性受到了很大的限制.

图 5(b) 所示的是一种理论上可以控制踢球方向的护球、踢球机构组合.在这种组合中,至少需要两个驱动源,控制起来比较复杂.这种结构的另一个缺陷是容易被其它机器人及障碍物等卡住^[12].又由于在实际中,球与踢球护球铲子的距离在“控球”范围内是不定的,限于目前所用的传感器及处理系统的限制,并不能很好地实现设计的初衷(完成指定方向

踢球动作).

图 5(c) 示意了一种护球机构固定在机器人车身上,又具备专门的踢球机构的组合.

图 5(d) 示意了一种护球手抓可收起的踢球机构和护球机构的组合.理论上讲,这种手抓可活动的护球机构增强了机器人将球捕捉从而实现控球的能力.

图 5(e) 示意了两护球手抓可分别活动的护球机构和踢球机构的组合^[24].在这种方式中,单个手抓可有三种状态:收起、两个手抓同时伸出时的 $8cm$ 伸出量状态、单个手抓伸出时的 $10cm$ 左右甚至更长伸出量的状态(要根据车身的具体情况定伸出量)^[2,3].这种方式的优点是在带球转弯时,可以使一侧手抓收起,另一侧手抓伸出至最长量,增强机器人带球转弯时的控球能力.这种护球机构的缺点是护球手抓机构和控制都比较复杂.

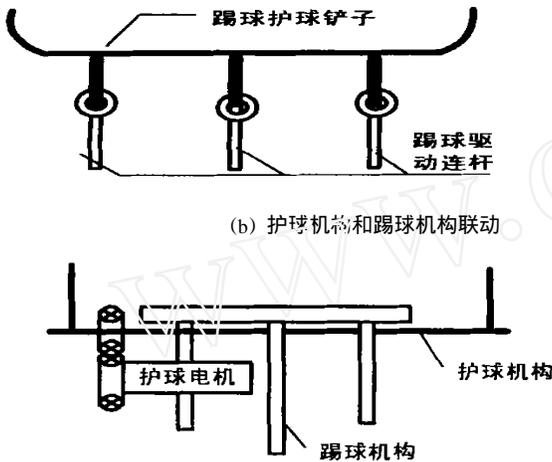
4.2 踢球机构的类型

踢球机构按踢球能量供给的来源方式分主要有三种:气动式的^[5,7,9,13,14,18]、电机弹簧(橡皮筋)储能释放式的^[11,13,20]、螺线管驱动式的^[4,15,21,29].

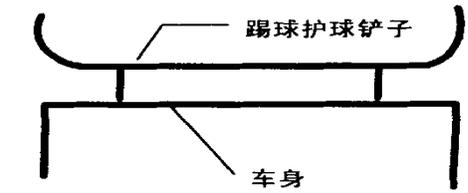
这三种类型的踢球机构设计合理的话,都能提供强劲的踢球动力.气动式的主要缺点是机器人需要装一个蛮占空间的储气瓶,事先得充气.电机弹簧(橡皮筋)储能释放式的踢球机构一般用电动机张紧弹

簧(橡皮筋)来实现蓄能,要踢球时打开塞子释放弹簧(橡皮筋),带动踢球端面(或推动一可转动的平板踢球),大多数机构的缺点是踢球速度难控 螺线管驱动式踢球机构的特点是机构简单,占用空间比较小,在控制踢球速度方面理论上的灵活性高,缺点是在加工安装方面要求较高,设计和安装不好的话易导致螺线管内管壁与磁性圆柱体间存在很大的摩擦力,

影响射门速度



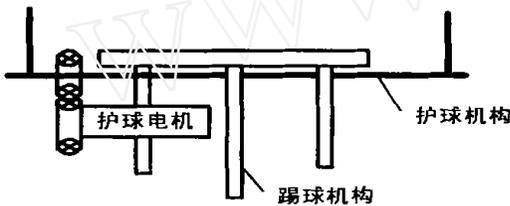
(b) 护球机构和踢球机构联动



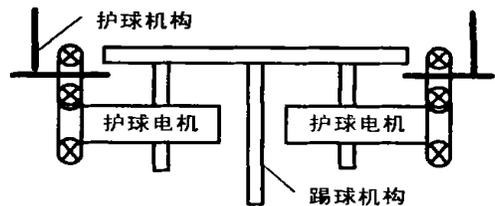
(a) 只有护球机构无踢球机构



(c) 护球机构固定,有踢球机构方式



(d) 两护球手抓联动,有踢球机构方式



(e) 两护球手抓分开,有踢球机构方式

图5 护球机构和踢球机构的几种典型组合示意图

Fig 5 Typical forms of holding mechanism and kicking mechanism

4.3 护球和踢球机构的不足和设计注意点

目前的足球机器人,在护球踢球机构上普遍存在着一些缺陷

缺少好的停球机制该是足球机器人的最大缺陷了,因为没有好的停球机制,就难以实现漂亮的传球配合和截球.停球机制的缺失有多方面的原因:中型组的机器人的机械形式难以实现停球机制;目前的传感识别预测能力不够,难以实现好的停球规划

虽然有的护球、踢球机构从设计初衷和原理上看可以实现对踢球速度和角度的控制,但由于踢球机构存在行程短、球在机器人“控球”范围内的具体位置不确定等问题,实际上控制踢球速度和踢球角度的效果往往不是很理想

在设计踢球机构时,还有一个特别需要注意的问题是减轻踢球所引起的机器人强烈震动带来的影响.强烈的震动有可能会使机器人的某些传感器难以工作或工作不正常,如全维视觉中反射镜面的剧烈晃动会使视觉信息采集成问题;强烈的震动也会引起机构安装固定上的松动等.具体措施可加减震装置、传感器信息处理时作信息滤除处理等

5 供电系统(Power system)

供电系统的基本功能是给各用电元器件提供合格的电能.比赛要求机器人具有电能储藏设备,储备的电能应能维持机器人运行足够长的时间.目前,机器人一般能独立供电运行一两个小时以上.为了调试等的方便,供电系统一般还要求具有使用外接供电和在机充电等能力

用的较多的储能元件是铅酸蓄电池,其优点是便宜,使用方便.有些队伍^[7]使用两组蓄电池,一组用于计算机等电子系统,另一组用于驱动电机等电气系统.用两组蓄电池的一个出发点是能隔离电机与电子器件的电源供应,但由于现在的开关电源模块能起到较好的隔离作用,实际并不需要这样做.用两组蓄电池在供电系统的智能化实现上要烦一些

近来,锂动力电池的使用在增加.锂动力电池优点是轻,能量密度高,内阻小,恒压性能好,无记忆

供电系统最好做智能化设计,即一方面能给人提供直观的电能指示(通过LED指示灯指示电平等供电系统状态),另一方面供电系统应该有一定的保



护措施,如过流、过放、过充等的保护。此外,如果将供电系统的智能化设计作为智能控制系统的组成部分来考虑的话,可使机器人的决策规划模块能知道当前的电能储备情况,这对于防止机器人意外当机、机器人的系统保护、做合理的决策规划等都有积极意义。

供电系统的设计还要注意布线。由于目前的机器人供电系统是一种低电压大电流的状况,不好的布线、选材会导致线路压降过大、损耗过多、可靠性降低,甚至于机器不能正常工作。

6 传感器(Sensors)

机器人依靠传感器来获得环境信息,建立闭环控制等等。在中型自主式足球机器人中,使用的传感器主要有摄像机、编码器(运动控制闭环系统组成成分)、激光测距仪、声纳、红外传感器、罗盘等。就完成 RoboCup 比赛来说,机器人必须具备的传感器是摄像机和编码器。

一般地,编码器和驱动电机安装在一起,用于组成闭环的运动控制系统。编码器还用于获得里程信息,用于自我定位、机器某些传感器参数校正等。

摄像机是机器人获得环境信息的最重要的传感器。机器人一般配置有一到两台摄像机。摄像机主要分为固定的有向摄像机、带云台的活动的有向摄像机、固定的全维视觉摄像机。早期,机器人配置有向视觉比较多,近来则越来越流行全维视觉^[8,12]。不论是固定的还是带云台的有向摄像机,获得的都是赛场的局部场景,在建立环境信息模型时遇到的困难较多,例如看不到的地方的场景信息得依靠其它机器人通告或自身记忆,实时性比较差。全维视觉的优点是一次就能获得整个场景信息,自我定位、环境信息建模等都比较容易,信息的实时性也好。全维视觉需要一个反射镜,反射镜里成整个场景的像,摄像机通过对准反射镜摄像获得整个场景的影像。目前的反射镜主要有两种方式:抛物镜面和圆锥镜面。全维视觉的缺陷是机器人近端信息有缺失、距离信息噪声大,所以有的机器人在装备全维视觉的基础上,再装备一个前向的固定摄像机,用两个摄像机来获得场景的视觉信息(包括检测球是否受控等),如 2002 年 RoboCup 比赛的冠军队 EIGEN 队等^[4,11,25]。

在过去的有围墙的场地中,激光测距仪曾在环境信息建模中发挥很大的作用^[15,28],象德国的 CS Freiburg 队曾发展出相当不错的激光环境信息建模

系统。但从 2002 年起,中型组比赛场地取消了围墙,激光测距仪的作用大大削弱,沦为辅助性的环境信息传感器了,主要用于障碍物测量。激光测距仪除了信息内容没有视觉丰富外,目前使用的激光测距仪单台的视野是有向的、局部的,完成视野内扫描的时间也比较长。此外,激光测距仪约比摄像机贵一个数量级。声纳的缺点是获得的场景信息精度低,实时性差。所以声纳只能是辅助性的场景信息传感器,目前,主要用于避障^[16]。红外传感器的使用比较少,主要也是用于避障等^[19]。有的队伍^[26]也用它来检测球是否受控,如我国的同济大学的足球机器人。目前的场景信息传感器有向视觉集中的趋势,比如,这两年成绩不错的日本 EIGEN 队,在 2001 年还用了声纳,到 2002 年就不再使用声纳,而只用视觉了^[4,16]。

7 通信系统(Communication system)

由于受目前技术水平的限制,如机器人还无法通过视觉、语言等手段理解裁判、教练、队友等的意图等,机器人必须装备无线通信系统,通过无线方式显式地进行通信。

底层的网络可以是令牌网、以太网等,这些在设计时一般不需要太多关心。目前,一般是在这样的网络基础上构架 IP 网络,厂商会提供相应的驱动程序。这样一来,机器人通信系统设计,包括通信所用协议的语法、语义设计等,可以得到简化,能减少很多工作量。

8 操作系统(Operating system)

足球机器人系统是一个实时性要求不高的软实时系统,系统反应时间可在几十毫秒乃至更长,实际上许多队伍的决策规划系统的决策周期为 30 到 50 毫秒左右。可见对操作系统的实时性要求不严格,可以选用实时操作系统,也可以选用实时性能不高的操作系统,如 Windows 操作系统。

考虑到系统的稳定性、可裁剪性、实时性等,目前的操作系统平台,使用的最多的是 Linux 操作系统或经过裁剪的实时的 Linux 操作系统。也有少数队伍使用 Windows。

9 结论(Conclusion)

设计自主式足球机器人平台应不仅仅着眼于参加足球比赛,还应考虑用来进行其它多种研究和应用的需要,如机器人技术的教学实践等。所以设计的时候,允许机器人做方便的硬件配置(尤其是传感器的可灵活选用)是一个不错的选择。

在中型自主式足球机器人平台的开发中, 需要考虑使用、维修等的便利性、可靠性问题。硬件尽可能的进行模块化设计, 然后搭积木式地构建整个机器人平台的设计思想有助于提高使用、维护的便利性。在平台设计中, 还应注意解决散热问题、注意电磁兼容性问题等。

参考文献 (References)

- [1] Overview, www. robocup. org
- [2] Gerhard Kraetzschmar. RoboCup-2002 middle-size robot league rules and regulations www. robocup. org
- [3] RoboCup-2003 Middle-Size Robot League Rules and Regulations www. robocup. org
- [4] Nobuyuki Kurihara, Daiki Sakai, Takaaki Okabe, Ryotaku Hayashi, Hikari Fujii, and Kazuo Yoshida. Team Description: EIGEN 2002, www. robocup. org, 2002
- [5] Takeshi Matsuoka, Motoji Yamamoto, Hiroyuki Yasuda, Motoki Katoh, Akira Motomura, Kohei Inomata, Nobuhiro Ushimi, Toshihiro Kiriki, Go Hirano, Takuya Sugimoto, Tsutomu Hasegawa, and Akira Mohri, Fusion, www. robocup. org, 2002
- [6] Shuichi ENOKIDA, Shuichi KOUNO, and Toshiaki EJIMA. KRC Kyushu Institute of Technology Intelligent Robot Club www. robocup. org, 2002
- [7] Alireza Fadaei Tehrani, Amir Abdollahi, Hooman Agha Ebrahimi, Mohammad Ajoodanian, Amir Arami, Ehsan Azimi, M. Mehdi, Danesh Panah, Mostafa Ghobadi, Hossein Ostadi, Shahrar Shariat, Ehsan Tarkesh, Reza Yeganeh. PERSIA 2002 Team Description www. robocup. org, 2002
- [8] Pagello E, A. D'Angelo, Menegatti E. Artisti Veneti 2002: evolving an Heterogeneous Robot Team for the Middle-size League www. robocup. org, 2002
- [9] Jamzad M, Ghorbani R, Kazemi M, Hadj Khodabakhshi A, Keighobadi A, Zam aninasab R, Nurani M, Farzan A. Sharif CE team description for RoboCup 2002 www. robocup. org, 2002
- [10] Yokota I, Ozaki K, Matsumoto A, Kawabata K, Kaetsu H, Suzuki T, Asama H. Team Description: UTTOR I United www. robocup. org, 2002
- [11] Kengo Yamane, Kenichi Abe, Takatugu Matsumura, Toshihiro Matukawa, Naruhito Ozawa, Yasuki Asano, Kosei Demura. WinKIT 2002: Team Description www. robocup. org, 2002
- [12] Pagello E, Bert M, Barbon M, Menegatti E, Moroni C, Pellizzari C, Spagnoli D, Zaffalon M. Artisti Veneti a New Entry in 2001 Middle-size League www. robocup. org, 2001
- [13] Michael Plagge, Andre Treptow, and Andreas Zell. The Attempto RoboCup Robot Team. www. robocup. org, 2001
- [14] Maroo Wiering, Matthijs Spaan, Robert Bartelds, and Frank de Jong. Clockwork Orange: The Dutch RoboSoccer Team. www. robocup. org, 2001
- [15] Thilo Weigel, Alexander Kleiner, Bernhard Nebel. CS Freiburg 2001. www. robocup. org, 2001
- [16] Kazuo Yoshida, Ryoichi Suzuki, Junichi Kougo, Takaaki Okabe, Nobuyuki Kurihara, Daiki Sakai, Ryotaku Hayashi, Hikari Fujii, and Takahiro Yamaguchi. Team Description Eigen www. robocup. org, 2001
- [17] Andrea Bonarini, Giovanni Invernizzi, Fabio Marchese, Matteo Matteucci, Marcello Restelli, and Domenico Sorrenti. Fun2M as: the Milan Robocup Team. www. robocup. org, 2001
- [18] Takeshi Matsuoka, Motoji Yamamoto, Nobuhiro Ushimi, Junichi Inoue, Takuya Sugimoto, Manabu Araoka, Toshihiro Kiriki, Yuuki Yamaguchi, Tsutomu Hasegawa, and Akira Mohri, Fusion, www. robocup. org, 2001
- [19] Ansgar Bredendfeld, Vlatko Becanovic, Thomas Christaller, Horst Günther, Giovanni Indiveri, Hans-Ulrich Kobialka, Paul-Gerhard Ploger, Peter Schöll, GMD-Robots www. robocup. org, 2001
- [20] José Miguel Almeida, João Paulo Baptista, Alfredo Martins, Eduardo Silva, Luís Lima, António Patacho, Victor Cerqueira, César Dias, Emmanuel Lomba, Rui Picas, Carlos Almeida, Helder Araújo, Adelino Domingues, Hugo Goulart, ISePorto Team, www. robocup. org, 2001
- [21] Fernando Ribeiro, Carlos Machado, Sérgio Sampaio, Bruno Martins. MNHO robot football team for 2001. www. robocup. org, 2001
- [22] Mark Makies, Genevieve Coath, Shereene Jesurajah, Malcolm Robins, and Chris Keen. RM IT United www. robocup. org, 2001
- [23] Peijnenburg A T A, Wamsterdam T P H, Knaapen R J W, et al. Philips CFT RoboCup Team Description www. robocup. org, 2001
- [24] Jamzad M, Chitsaz H, Foroughnassirai A, Ghorbani R, Kazemi M, Irokni V S M, Sadjad B S. Basic Requirements for a Teamwork in Middle size RoboCup. www. robocup. org, 2001
- [25] Yasutake Takahashi, Shoichi Tkenoue, Shujiro Inui, Kouichi Hikita and Minoru Asada. Osaka University "Trackies 2001." www. robocup. org, 2001
- [26] Hans-Utz, Dominik Maschke, Alexander Neubeck, Peter Schaeffer, Marcus Ritter, Philip Baer, Ingmar Baetge, Jan Fischer, Roland Holzer, Markus Lauer, Jan Lindenmair, Alexander Reisser, Florian Sterk, Günther Palm, and Gerhard Kraetzschmar. The UIm Sparrows 2001. www. robocup. org, 2001
- [27] Kosei Demura, Noriharu Kubo, Koichi Fujita, Masanori Toyota, Kengo Yamane, and Kenichi Abe. WinKIT-01: Team Description, www. robocup. org, 2001
- [28] Norbert Oswald, Michael Becht, Thorsten Buchheim, Gunter Hetzel, Georg Kindemann, Reinhard Lafrenz, Matthias Muscholl, Michael Schanz, Moritz Schulte, Paul Levi, CoPS-Team Description (Stuttgart-CoPS). www. robocup. org, 1999
- [29] Mansour Jamzad. CS-Sharif ROCS99 team in middle-sized robots league (CS-Sharif). www. robocup. org, 1999

作者简介:

罗真 (1974-), 男, 博士研究生, 研究领域: 自主式移动机器人智能控制

曹其新 (1960-), 男, 博士, 责任教授, 博士生导师, 上海交通大学机器人研究所常务副所长, 研究领域: 机器视觉与识别、基于网络的机器人智能控制、智能娱乐机器人

陈卫东 (1968-), 男, 博士, 副教授, 研究领域: 智能机器人控制, 多机器人协作