

文章编号: 1005-3026(2001)02-0192-04

多智能足球机器人系统的关键技术

王文学, 赵妹颖, 孙 萍, 徐心和

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 以 NEW NEU 参加机器人足球世界杯赛(FIRA RWC99)的基于视觉型微型足球机器人系统 MIROSOT 为背景, 详细介绍了机器人足球的关键应用技术。采用模糊神经网络和自主学习专家系统的分层智能控制系统是当前机器人足球系统的研究方向。具有人工智能的自主型步行足球机器人是足球机器人的长远发展目标。

关 键 词: 多智能体; 足球机器人; 计算机视觉; 决策对策

中图分类号: TP 242.6 **文献标识码:** A

足球机器人系统是机器人研究的一个分支, 属于可行走智能机器人系统。目前研究的方向为集中控制式足球机器人系统(Vision-Based Remote Brainless Multi-Robot System); 集中视觉型足球机器人系统(Vision-Based Brain-on-Board Multi-Robot System); 分布控制式足球机器人系统(Robot-Based Multi-Robot System)。足球机器人既有一般机器人的共性, 又有其特性。它以实现机器人足球运动员为发展目标, 研究运动分析、自动控制、人工智能、计算机视觉及其他传感器融合、无线数字通信等学科领域^[1]。本文对在参加国际机足联世界杯赛和多次国内赛事中取得良好战绩的 NEW NEU 足球机器人系统的关键技术予以介绍, 并对当前发展中的足球机器人应用技术进行了分析和探讨。

1 计算机视觉技术及其与其他传感器的数据融合

集中控制式系统特点是主计算机和视觉传感器与机器人分离。视觉传感器位于比赛场地上方, 所有机器人共用一个视觉识别机构。图像处理和辨识决策都由主机完成, 决策命令通过无线数字通信系统传送给各足球机器人。视觉子系统、决策子系统、无线通信系统和机器人单体子系统构成了闭环控制系统。其中机器人是控制对象, 决策子系统可看做系统控制器, 视觉子系统可看作检测及反馈环节^[2]。

视觉系统的主要任务是实时采集、处理、辨识

场地图像, 得到场上运动物体的有关数据供决策子系统进行分析决策使用。在 3 对 3 比赛中, 每次要提供敌我双方 6 个机器人和 1 个球的 X_i 、 Y_i 坐标和运动方向角 θ_i 的数据。

NEW NEU 视觉子系统硬件配置: WV-CP450 彩色 CCD 摄像头, 分辨率为 640×480 。CA-CPE-3000 彩色图像采集卡, 经解码后转换为 RGB-24bits 的数字信号, 通过 CPI 总线送到 PC 机内存。

1.1 彩色图像分割技术

(1) 图像的多重二值化和多值标记法

图像二值化是图像分析的基础。在彩色图像中, 对每一种颜色都进行二值化, 称为多重二值化方法。可采用对图值的多值标记法来记录分割图像。

(2) 相关点二值化和查找表二值化方法

在辨识扫描策略中, 只对部分相关点进行二值化, 称为相关点二值化, 加快扫描速度。在此基础上, 采用查表方法确定该点属性, 以避免对 RGB 像素进行串行运算, 提高算法的实时性。

(3) 用划分三维 HSI 空间进行图像分割

首先以人机对话方式采集一系列样本点, 这些点属于 RGB 颜色空间 $\{R_i, G_i, B_i\}$ 。通过正变换转换到 HSI 空间 $\{H_k, S_k, I_k\}$, 对每个 HSI 空间点的 H、S、I 分别加一增量 $\{H_k \pm \Delta H, S_k \pm \Delta S, I_k \pm \Delta I\}$ 再对其进行反变换, 就得到了在 RGB 空间属于该样本点的区域。用这种方法可离线制作颜色查找表。

收稿日期: 2000-08-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69875003)。

作者简介: 王文学(1946—), 男, 辽宁兴城人, 东北大学副教授; 徐心和(1940—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 东北大学教授, 博士生导师。
?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

其中, $H = \arctg \left[\frac{\sqrt{3}(G-B)}{2R-G-B} \right]$

$$S = 1 - 3\min(R, G, B)/(R + G + B)$$
$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

1.2 实时辨识算法与技术

- (1) 基于场的 TARGET 采集方式。在 PAL 制式下, 每秒摄像头可采集 25 帧, 即 50 场。利用 TARGET 采集方式对场采集, 可得到频率 50 Hz 的缩小的图像。
- (2) 物体质心确定。根据色标的对称性, 先用交叉线法粗略确定质心位置, 最后按下式得到物体精确质心。

$$\left\{ \begin{aligned} X_0 &= \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n x(i, j) b(i, j)}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n b(i, j)} \\ Y_0 &= \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n y(i, j) b(i, j)}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n b(i, j)} \end{aligned} \right.$$

其中 $b(x, y) = \begin{cases} 0 & (x, y) \notin \text{某物体} \\ 1 & (x, y) \in \text{某物体} \end{cases}$

交叉线法流程图如图 1 所示。

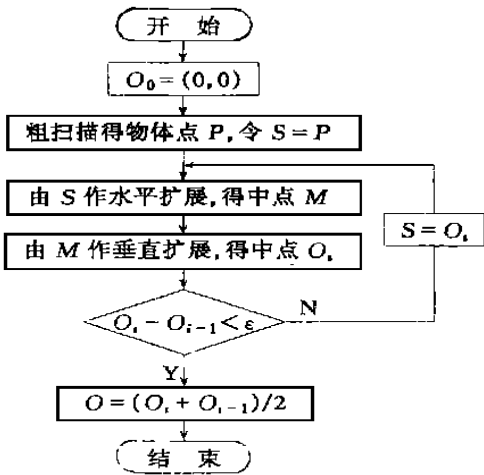


图 1 交叉线法程序流程图

- (3) 移动网络扫描策略。
- (4) 动态窗口技术。
- (5) 特征色标的跟踪方式。

1.3 红外传感器和其他传感器的使用

在基于视觉的足球机器人上, 为了进行障碍回避(Obstacle avoidance)。常常还加装 6~8 个红外传感器。红外传感器信号的检测和处理及其与主机命令信号的实时选择, 由机载微处理器完成。这一过程称为行为选择(Behavior selector)^[3]。为了尽量利

用机载微处理器, 再加装其他传感器也是可能的。自主型足球机器人集视觉与主机于一身, 为了弥补视觉功能的不足及发展类似人的其他感觉, 可以加装触觉、接近觉、力觉等传感器, 也可利用激光、声纳等进行测距、测速。以上传感器对机器人来说, 都是外传感器。同时自主型足球机器人的内传感器将包括速度、位姿等传感器。这时的视觉传感器是移动的, 图像是三维的, 图像的处理、分析更复杂, 对图像的理解也将是更深层次的。

各种传感器的信号发生, 采集处理, 各种数据的辨识和数据融合, 是传感器应用中的关键技术。

2 多智能体的协同和智能决策

足球机器人决策属于一类知识型系统。在决策系统中有态势分析, 攻防策略选择, 队形确定和角色分配等高层决策, 也有战术配合, 技术动作、基本动作等低层决策。决策系统最集中地反映了人工智能技术各相关理论的应用。四层决策结构图如图 2 所示。

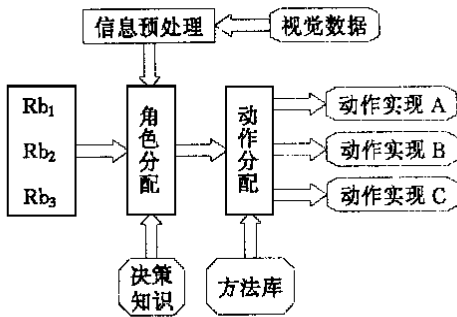


图 2 四层决策结构图

(1) 信息预处理层

输入为 $I_{7 \times 3}$ 视觉辨识矩阵, 通过预处理和特征状态提取为态势分析和决策推理做准备。

(2) 高层决策层

通过对场上实体位置、速度、角度、运动趋势的分析及敌方策略的分析, 决定我方的进攻、防守策略, 如全攻全守、区域防守、前后场法、两翼法、状态-行为空间映射等。策略的生成, 基于产生式推理。

① 策略与分区。策略不同, 场地分区方法也不同;

② 策略与角色分配。策略与角色分配密切相关, 角色的定义由不同策略决定, 如 3 对 3 比赛可定义为守门员(GL)、主攻(MF)、副攻(AF)、主防(MG)、协防(AG)等;

③ 策略与队形。队形取决于比赛方式、策略。如 Mirostot(3:3) 比赛有 1-1-1, 2-0-1, 0-2-1 等队形, Narosot(5:5), 比赛有 2-2-1, 1-3-1, 3-1-1,

0-4-1等队形。

④ 角色分配与转换是高层决策的输出。角色分配采用最佳位姿原则, 由距离和角度、进攻和防守策略决定。如一种方法为

设 $A1 = k1d1 + k2\alpha1$

$A2 = k1d2 + k2\alpha2$

当 $A1 < A2$ 时, $MF = R1, AF = R2$

角色转换的条件分为进攻角色转换条件和防守角色转换条件, 由位置、角度等决定。

⑤ 其他决策与处理。冲突检测与处理; 故障检测与处理; 边墙检测与处理; 犯规预防处理。

(3) 低层决策层

根据高层决策采用的策略和分配的角色, 在该层决定采用何种动作, 完成动作分配。

应用轨迹规划、遗传算法、力场等算法, 考虑运动学和动力学模型建立各类函数库, 如基本动作函数库可包括到定点(Position)、转角(Angle)、沿指定方向运动(Move)等函数; 技术动作函数调用多个基本动作函数, 如射门(Shoot)、拦截(Block)、扫球(Sweep)、障碍回避(Avoidance)、传球(Pass)、守门(Goalkeep)等; 而战术配合要调用若干技术动作函数, 如一传一射(Pass-Shoot)、二过一(Two Beat One)、交叉掩护(Cross and Cover)等。

(4) 动作实现

决策系统的输出是各机器人的左右轮速度, 经过若干决策周期完成从战术到战略的任务。

图 3 为 Mirobot 全攻全守策略流程图。

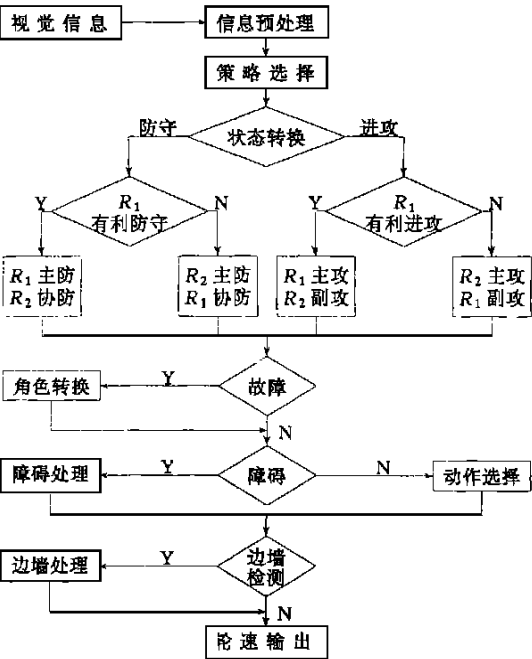


图 3 Mirobot 全攻全守策略流程图

图 4 为一采用分层的智能控制系统^[5]。

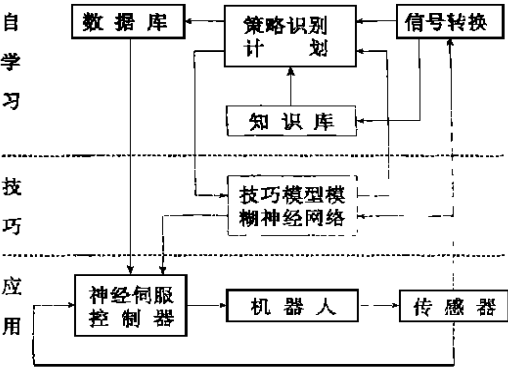


图 4 分层智能控制系统

3 足球机器人的制造技术

足球机器人的制造技术是非常关键的。它与视觉等传感器技术相结合, 组成足球机器人的硬件系统。基于视觉轮式足球机器人中, 机载微处理器是控制单元, 机载无线数字接收系统根据通讯协议接收主机通过无线数字发射系统发出的指令, 由单片机按一定控制算法实现控制器作用, 再由光电测速进行反馈完成闭环速度及角度控制。其中控制算法因应于设备和精度, 可采用 PWM、模糊控制等各种算法^[6]。对微电机和齿轮减速装置一致性较差问题, 必须采取同步补偿等方法。通讯系统是主机和机器人连接的纽带, 一般采用高频数字通讯 FSK 方式以提高通讯速率和可靠性。在基于视觉型机器人系统中, 控制信号由主机串行口送出, 再由发射机发出。接收机在机器人上, 实时接收信息, 完成指令。由于该系统是单向通讯, 但是一对多通讯, 所以可采用广播方式, 由通讯命令字中的标识位加以区分。根据比赛要求频率要可调。通讯速率一般要大于 9600bps。通讯系统的抗干扰性, 对提高可靠性有重要意义。

一种高频发送接受芯片 Radiometrix BIM-UHF 可以很好地完成发送和接收任务。

- 工作频率 BIM-418-F 418 MHz; BIM-433-F 433.92 MHz
- 接收灵敏度 -107 dBm
- 传输速率达 40 kbps
- 传输距离 30 m 以上

图 5 为微处理器控制的 BIM-UHF 芯片, 通过 TX 和 RX 控制工作在发送或接收状态, TXD 和 RXD 分别为发送数据和接收数据, CD 为载波检测端。该设备可以实现机器人与主机的半双工通讯。使机器人采集或生成的信息如实际转速、故

障等信息反馈给主机，将对提高系统智能化和控制精度有重要影响。

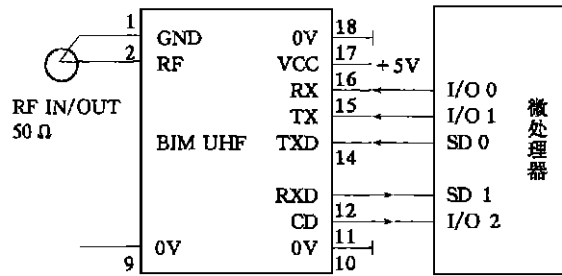


图 5 BIM-UHF 收发芯片的控制

4 结 论

本文介绍的集中控制式足球机器人系统的应用技术，经过实战多次检验，取得了良好战绩。系统所反映的实时性、鲁棒性、协同的有效性是人工智能和其他相关学科各种理论和技术应用的综合。

自主型足球机器人是足球机器人的发展方向，自主型足球机器人对机器人的视觉提出了更高的要求，如何实现传感器的融合、模仿人类的视

觉、听觉、接近觉、方向觉等感知器官，并做出模仿人类的决策是研究的重要方向。

参考文献：

[1] 陈哲, 吉熙章. 机器人技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996. 62—120.
(Chen Z Ji X Z. Robot technology basis[M]. Beijing: Publishing House of Mechanical Industry, 1996. 62—120.)

[2] 徐心和. 足球机器人六步推理模型研究[A]. 足球机器人研讨论文集[C]. 沈阳, 1998. 42—46.
(Xu X H. Six steps reasoning pattern research on robot soccer [A]. Proceedings of Workshop on Robot Soccer[C]. 1998. 42—46.)

[3] Tsoularis A, Kambhampati. On-line planning for collision avoidance on the nominal path[J]. Journal of Intelligent and Robotics Systems, 1998, 21: 327—371.

[4] Kim J H, Kim K C, Kim Y J. Path planning and role selection mechanism for soccer robots[A]. Proc of IEEE Int Conf on Robotics and Automation[C]. Leuven, 1998. 3216—3221.

[5] Fukuda T. Evolutionary robotic system[A]. Proceedings Micro-Robot Word Cup Soccer Tournament[C]. Kaist, 1997. 19—26.

[6] Proycheves T Ph. Fuzzy navigation of mobile robots in unstructured enviroment[A]. Proceedings of Micro-Robot Word Cup Soccer Tournament[C]. Kaist, 1996. 120—123.

Crux Techniques of Multi-Agent Robot Soccer System

WANG Wen-xue, ZHAO Shu-ying, SUN Ping, XU Xin-he
(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract The crux techniques of robot soccer systems against the background of the vision-based robot soccer system MIROSOT that NEW NEU Team have used in FIRA RWC' 99 were presented. It showed that our own color image break up technique and real time identificational algorithm are efficient ways for system reaction speed. High and low level decision are needed to manage different strategies in knowledge base. The hierarchical intelligent control system using fuzzy neural network based on expert learning system is the research direction. The objective in the long run is intelligent autonomous soccer robot on foot.

Key words: multi-agent; robot soccer; computer vision; strategy and decision

(Received August 30, 2000)