

文章编号: 1002-0446(2000)02-0096-06

提高足球机器人系统实时性能的 硬件优化方法的研究

赵姝颖 高大志 柏立军 徐心和

(东北大学信息学院 沈阳 110006)

(中国科学院机器人学开放研究实验室 沈阳 110015)

摘要: 机器人足球赛是近年来在国际上迅速兴起的高技术对抗项目, 实时性问题是足球机器人系统的关键问题之一. 本文基于足球机器人系统的硬件结构优化问题分析, 提出了多种提高系统响应速度的可行性方案, 并给出了部分实验结果.

关键词: 实时控制; 足球机器人; 并行处理

中图分类号: TP24 文献标识码: B

1 引言

“兵贵神速”. 足球机器人系统的实时响应速度是决定系统竞争能力的重要因素之一. 计算机的运算和操作速度必须与它所控制的对象实际运行过程相适应. 为了达到这一要求, 需要从硬件和软件两个方面来保证. 硬件方面, 随着大规模集成电路技术的发展, 计算机器件的工作速度不断提高. 但对于足球机器人这种信息量大、资源配置有限、实时性要求很高的系统来说, 研究如何通过优化系统的硬件结构来提高系统的实时性能的问题有重要的现实意义.

2 足球机器人系统的结构

足球机器人系统包括四个子系统: 视觉子系统、决策子系统、通讯子系统和小车子系统. 系统的结构框图如图 1.

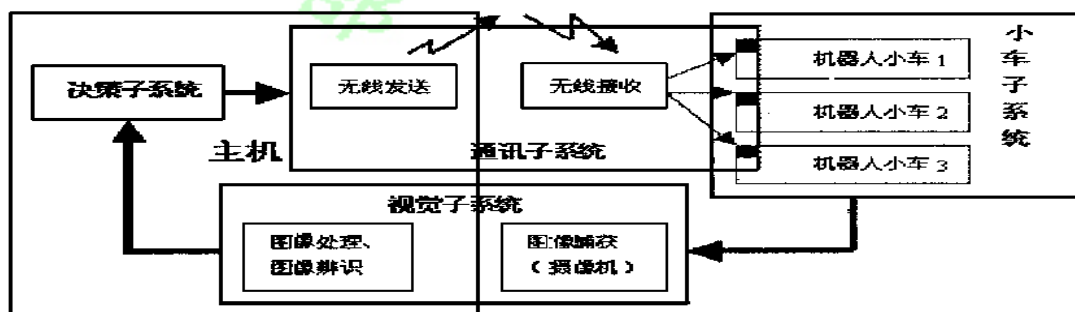


图 1 MIROSOT 机器人足球系统控制结构框图

足球机器人比赛在 $130\text{cm} \times 150\text{cm}$ 的黑色场地上进行, 双方各有三台小车参赛, 由位于赛

基金项目: 国家机器人学实验室重点资助项目.

收稿日期: 1999-03-30

场上方的摄像机捕获赛场图像信息并传送给主机, 由主机对图像进行分析以辨识场上局势并根据分析结果选择控制策略确定如何控制小车, 再通过无线通讯将控制命令发送给各个小车, 最后, 由小车完成场地上的比赛任务.

2 足球机器人实时性问题分析

2.1 实战要求与实时性能指标

足球机器人系统响应速度是系统作战能力的重要指标. 与人类足球比赛情况类似, 一个足球队的竞技能力高低不仅取决于队员的控球能力(传球准确性, 临门一脚工夫等), 更重要的取决于球队的整体应变能力(进攻、防守速度、攻防转换能力等), 如果球队的反应速度占优势就可以从容地控球.

对于足球机器人系统来说, 提高系统的实时性能就是提高机器人足球队的反应速度. 如果这个问题解决不好, 再好的技战术(决策对策)也无法实施. 提高系统实时响应速度的方法可以针对系统各个环节有所不同, 但总的来说, 都可以通过优化系统的软、硬件结构使之得到改善.

从图 1 可以看出, 整个系统是以视觉子系统为反馈环节的闭环系统. 视觉子系统是由摄像机完成图像捕获的, 摄像机采用 PAL 制式(25 帧或 50 场)对应图像捕获的周期为 20ms. 对于足球机器人系统来说, 如果系统的控制周期不大于图像捕获周期, 就认为系统实时性能达到理想状态.

2.2 实时任务及其时间分段

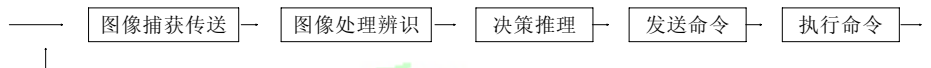


图2 足球机器人系统实时任务示意图

如图 2 所示, 在足球机器人系统中, 从图像捕获、图像处理、图像辨识到确定决策对策、无线通讯发送命令, 再到无线通讯接收命令以及小车执行命令规定的动作(执行结果为新的图像的产生)构成一个完整的闭环控制过程. 要使系统的实时性能达到理想状态, 就需要在 20ms 内完成上述处理任务.

上述实时任务周期性执行, 每个周期包括以下时间段:

(1) 图像数据传送时间 TW_1

一般的图像采集卡上没有存储器, 只有总线控制器, 大量的图像信息(一场为 450KB)要通过总线传送到主机的内存, 在此过程中, 主机 CPU 处于总线挂起状态, 不能进行数据的处理. 如总线传输速度为 45MB/S, 传输一场图像信息时间为 10ms, 即 CPU 在图像数据传送期间需要等待 $TW_1 = 10ms$.

(2) 图像像素传送累计间隔时间 TW_2

摄像机捕获一场图像的时间约为 $TW = 20ms$, 在此期间采集卡通过总线将各图像信息传送到主机内存(前面提到的传送时间 TW_1), 图像传送时间 TW_1 小于图像捕获时间, $TW_2 = TW - TW_1$, TW_2 为图像传送累计间隔时间, $TW_2 = 10ms$.

(3) 图像处理辨识时间 TW_3 和决策推理时间 TW_4

这两部分时间与主机工作频率、资源利用与算法有关, 也可以通过软件方法缩短.

(4) 发送命令时间 TW_5

系统中采用串行通讯发送命令, 发送命令时间 TW_5 与通讯的波特率有关, 给每个小车发送 3 个字节命令, 如果通讯波特率为 4800, 连续发送时需要 $TW_5 = 20\text{ms}$.

(5) 执行命令时间 TW_6

机器人小车从接受到主机发出的动作命令到执行控制动作, 需要时间 TW_6 . 这段时间与机器人小车的性能有关.

2.3 提高足球机器人系统实时性能的主要途径

2.3.1 足球机器人系统的硬件配置

要提高系统的实时性能, 可以选择性能良好的硬件设备, 但这样会增加系统成本, 同时, 设备的选择也不是完全没有限制的, 如: 系统主机只能是一台个人计算机, 可以选用性能良好的奔腾 PC 机作主机, 足球机器人系统硬件配置如图 3.

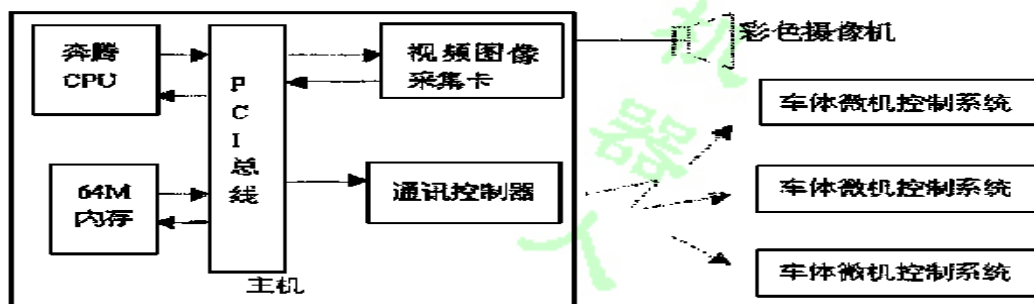


图 3 足球机器人系统配置框图

提高足球机器人系统实时性能的主要途径应该通过优化系统结构, 即从分析系统处理任务的各个环节入手, 针对每个环节采用适当硬件配置结构和软件处理方法提高系统的实时性能.

2.3.2 串行结构与并行结构

当系统采用串行结构时, 其各个组成部分所完成的任务要按时间顺序进行排列, 某一部分工作时, 其他部分在等待, 这种结构相对便宜, 且容易编程, 适用于实时性能要求不高的场合.

当系统采用并行结构时, 并行的各个部分可以同时工作, 对于实时性要求高的场合, 这种结构模式在系统设计中举足轻重.

在足球机器人系统中, 由于主机与各个小车都有各自的微计算机系统, 他们可以并行工作, 在主机给小车发送完命令后, 小车执行命令时, 主机可以完成图像采集等其他任务. 每完成图 2 所示的各项任务, 所需要的的时间为:

$$T = \text{MAX}\{T_1, T_2\};$$

其中, T_1 为主机完成各项处理任务的时间, $T_2 = TW_6$.

如果主机完全采用串行结构时, $T_1 = TW_1 + TW_2 + TW_3 + TW_4 + TW_5$; 实时性能不可能达到理想目标. 如果视觉采集及处理, 决策推理, 通讯命令发送以及车体控制完全并行时, $T = \text{MAX}\{TW', TW_4, TW_5, TW_6\}$;

其中, $TW' = TW_1 + TW_2 + TW_3$.

采用这种模式, 只要各个子系统的操作时间都满足系统的实时性能要求, 系统就可以达到理想的实时性能.

可见,优化系统的硬件结构是提高足球机器人系统实时性能的必然选择.

3 提高足球机器人系统实时性的硬件优化方法

3.1 采用共享内存结构减少数据传输环节

大量数据传输占用主机 CPU 时间降低了系统的实时响应速度,采用共享内存减少数据传送环节.

采集卡的控制器与主机 CPU 可并行操作共享内存,采用这种方式 TW 时间 CPU 不必等待.这种结构系统中要设计容量足够大(大于 1.2MB)的共享内存.如图 4 所示.

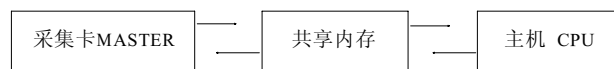


图4 主机与图像采集卡共享内存

3.2 采用多 CPU 并行处理的硬件结构

3.2.1 采用具有双 CPU 的图像采集处理系统

由于图像信息量大,实时性要求高,采用单片机处理时单 CPU 如 80196CPU 难于达到实时要求,采用多 CPU 可以分工协作提高采集卡的实时处理能力.

图 5 中 CPU1 负责控制视频信号 A/D 转换并将数据传送于共享内存区,CPU2 负责将共享内存中的图像数据分析处理辨识并通过总线向主机传送结果.

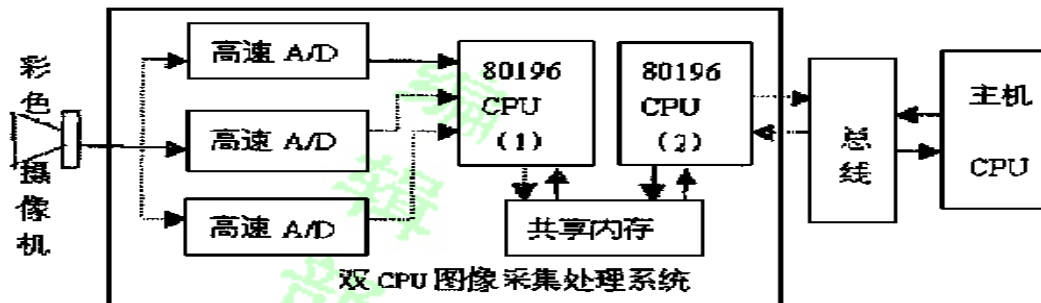


图 5 双 CPU 图像采集处理系统与主机 CPU 的并行结构

3.2.2 采用 DSP 技术开发图像采集处理系统

采用多个单片微计算机结构,成本较低,但软硬件结构都较复杂,采用 DSP 专用处理器 DMS320/60 开发图像采集卡,可以完成图像的采集、处理并向主机传送处理结果.如图 6 所示.

上述两种方法,主机 CPU 获得的是图像处理的结果,可以节省 TW' 的时间.

目前,韩国等足球机器人技术先进国家通过采用 DSP 技术并结合优化软件,视觉采集和处理已可以满足实时要求(视觉系统处理频率已达到 $60\text{Hz}^{[5]}$).

3.2.3 采用智能通讯接口管理串行通讯

智能通讯接口是以 8031 单片机为核心扩展的微机系统.用它管理串行通讯,可以使主机 CPU 把要发送的命令送到该系统的缓冲区,这样主机 CPU 对串行通讯接口的管理转化为对内存的操作,节省了 CPU 等待串行发送的时间.如图 7 所示.

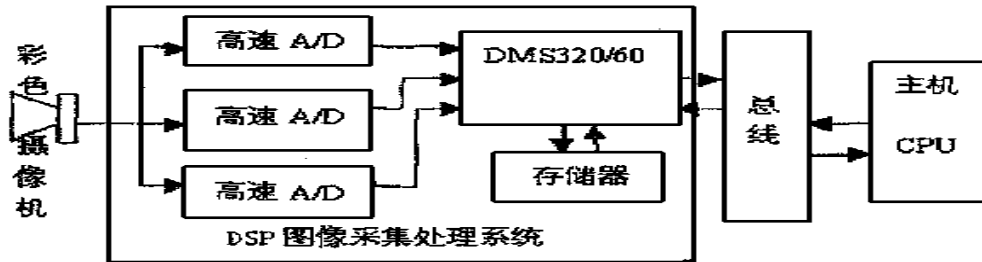


图6 DSP 图像采集处理系统与主机 CPU 的并行结构

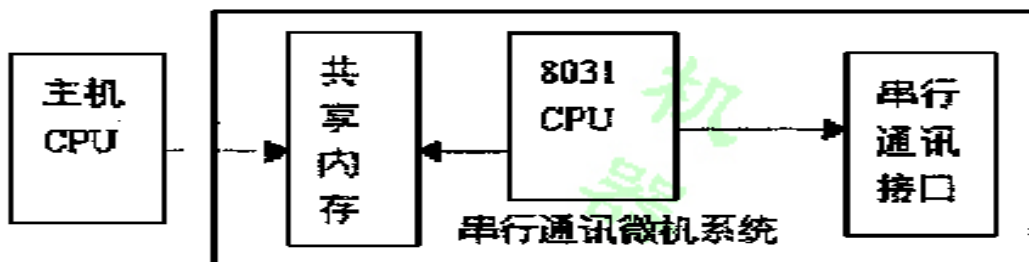


图7 串行通讯微机系统与主机 CPU 的并行结构

3.2.4 机器人小车采用微机控制系统

每个机器人小车都能通过无线通讯系统接收主机发来的命令,并能执行命令的动作,采用 8031 单片计算机可以实现对双轮的闭环控制.要进一步提高小车的实时性能,可以采用 80196

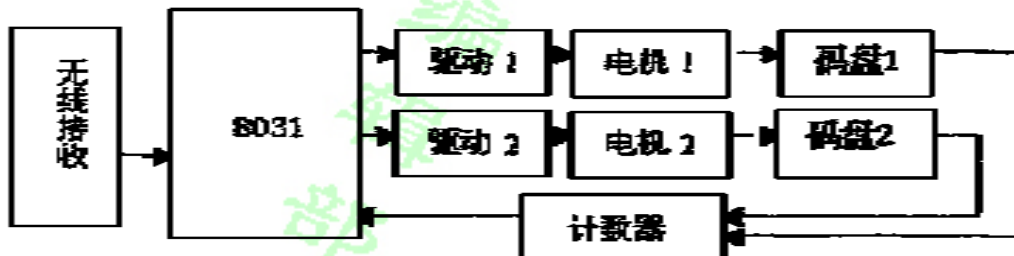


图8 机器人小车计算机控制系统

替代 8031. 如图 8 所示.

4 实验结果

我们对系统的实时性能进行了测试,其结果如下:

- (1) $TW 6 < 20\text{m s}$.
- (2) $10\text{m s} < TW 3 < 15\text{m s}$.
- (3) $5\text{m s} < TW 4 < 10\text{m s}$.
- (4) 主机内各个子系统采用完全的串行结构, $40\text{m s} < T < 60\text{m s}$.
- (5) 当采用通讯控制微机系统管理串行通讯时, $TW 5 < 1\text{m s}$, 系统的控制周期比完全的串行结构节省大约 20m s .
- (6) 在视觉子系统与决策子系统串行工作时, 系统的控制周期能达到 40m s .

5 结论

本文提出若干优化足球机器人系统的硬件结构的方法, 如何综合系统软件结构优化方法以提高足球机器人系统实时性能待另文发表. 目前亟待解决的是开发适用于足球机器人的图像采集处理硬件系统, 实现各个子系统的完全并行工作, 以达到国际先进水平.

参 考 文 献

- 1 蒋静坪. 计算机实时控制系统. 浙江大学出版社, 1992
- 2 高大志. 机器人足球——智能机器人的新领域. 机器人, 1998, 20(4): 309- 314
- 3 张大鹏. 模式识别与图像处理并行计算机系统设计. 哈尔滨工业大学出版社, 1998
- 4 Jong-Hwan Kim. Cooperative Multiagent Robotic Systems: From the Robot-soccer Perspective. Proceeding of Micro-Robot World Cup Soccer Tournament, 1997: 3- 14
- 5 Chu-sik In. Hardware Implementation of the Multi-target Tracker for MIROSOT. Proceeding of Micro-Robot World Cup Soccer Tournament, 1997: 67- 71
- 6 徐心和、高大志. 足球机器人研讨班论文集, 1998, 沈阳, 中国
- 7 李兰友等. 数字信号处理单片机应用, 电子工业出版社, 1997, 8

A STUDY OF HARDWARE OPTIMIZATION FOR IMPROVEMENT OF REAL-TIME PERFORMANCE OF ROBOT-SOCCER SYSTEM

ZHAO Shu-ying GAO Da-zhi BAI Li-jun XU Xin-he

(School of Information Science & Technology, NEU, Shenyang 110006)

(Robotics Lab, Chinese Academy of Science, Shenyang 110015)

Abstract: Robot-soccer tournament is a new kind of high tech competition which is internationally developed in recent years. The real time problem is one of the sticking points of this system. Some methods of developing the system's responding speed are given in this paper on the basis of the research on optimizing the hardware of the robot-soccer system. And some results are also given.

Keywords: Real time control, soccer robot, parallel processing

作者简介:

赵姝颖 (1968-), 女, 讲师, 博士生. 研究领域: 模式识别, 足球机器人.

高大志 (1946-), 男, 副教授. 研究领域: 计算机控制系统, 足球机器人.

柏立军 (1960-), 男, 工程师. 研究领域: 计算机控制系统.