

文章编号: 1002-0446(2002)02-0097-05

多功能室外智能移动机器人实验平台— THMR-V*

张朋飞 何克忠 欧阳正柱 张军宇

(清华大学智能技术与系统国家重点实验室 北京 100084)

摘要: 本文介绍了清华大学智能技术与系统国家重点实验室研究开发的多功能室外移动机器人实验平台 THMR-V, 以及 THMR-V 的体系结构和部分功能.

关键词: 移动机器人; 临场感; 遥控;

中图分类号: TP24 文献标识码: B

MULTIFUNCTIONAL INTELLIGENT OUTDOOR MOBILE ROBOT TESTBED- THMR-V

ZHANG Peng-fei HE Ke-zhong OUYANG Zheng-zhu ZHANG Jun-yu

(Tsinghua University State Key Laboratory of Intelligent Technology and Systems)

Abstract: This paper introduces THMR-V, a multifunctional intelligent outdoor mobile robot testbed developed by Tsinghua University state key laboratory of intelligent technology and systems.

Keywords: mobile robot, telepresence, telecontrol

1 引言(Introduction)

现代电子技术、计算机软、硬件技术、人工智能技术、模式识别技术、自动控制技术的飞速发展,促进了室外移动机器人导航、控制技术的进步和功能的增多.随着国际间高科技领域竞争的日益激烈,多功能室外移动机器人必将会在各行各业得到广泛应用.如今在军事应用领域,室外机器人被寄予替代人类自动执行某些日常性与危险性军事任务的厚望,比如在军事场地巡逻、侦察、和监视以及在生物、化学、核试验场作业等.而在高速公路上利用视觉信息识别行车道实现自动驾驶或辅助驾驶又是当前国际国内移动机器人研究领域和智能交通系统研究领域的热门研究方向.作为科研机构,开发一种能适应各种环境,满足多种要求的多功能室外移动机器人实验平台势在必行.在这种科研背景下,清华大学智能技术与系统国家重点实验室智能移动机器人课题组在由国防科技预研九五重点项目“地面军用智能机器人-临场感遥控系统”资助下,与国防科技大学、南京理工大学、浙江大学、北京理工大学合作研究地面

军用智能移动机器人的同时,又在国家高技术研究发展计划(863 计划)项目“智能机器人关键技术—基于多传感器的智能决策与控制技术的研究”和“基于多传感器信息融合的室外移动机器人监督式导航技术的研究”的资助下,独立开发了多功能室外智能移动机器人实验平台 THMR-V.

目前 THMR-V 已经具备了以下功能:

- 校园道路网环境中的低速、中速全自主行驶;
- 校园网道路环境中的临场感遥控驾驶;
- 高速公路车道分界线的快速视觉检测;
- 高速公路环境中的部分辅助驾驶工作;
- 校园网道路环境中的侦察(与清华大学智能与系统国家重点实验室多媒体交互与媒体集成分室合作);

THMR-V 研究的近期目标:

- 高速公路环境中的全自主行驶;
- 实现在校园道路网环境中基于视觉的监控下半自主行使;

THMR-V 研究的远期目标:

- 结合智能交通系统的研究,增强、增多在高速

公路环境中的辅助驾驶功能;

- 其他功能

2 THMR-V 的硬件体系结构 (Hardware system architecture for THMRV)

THMR-V 是在清华大学“八五”期间自主开发的室外移动机器人实验平台 THMR-III 的基础上研究开发的. THMR-V 继承了 THMR-III 中的一些成熟的关键技术, 如光码盘—磁罗盘组合定位、差分 GPS(全球定位系统) 定位 DGPS、路径跟踪技术、

车体控制技术等, 但对整个车体的体系结构和系统集成方式作了改进与完善, 并增添了临场感遥控驾驶、侦察、高速公路中的自动驾驶和辅助驾驶等功能以及相应的软、硬件模块. 图 1 所示为 THMR-III 的硬件体系结构, 图 2 为 THMR-V 的体系结构. 从图 1 与图 2 的对比可以看出, 与 THMR-III 相比, THMR-V 不仅将 THMR-III 中的双端口 RAM 改为 10M 以太网, 将超声传感器阵列改为激光雷达, 而且增添了无线数据通讯、声像采集、发射、摄像机云台控制、远/近距离视觉处理等子系统.

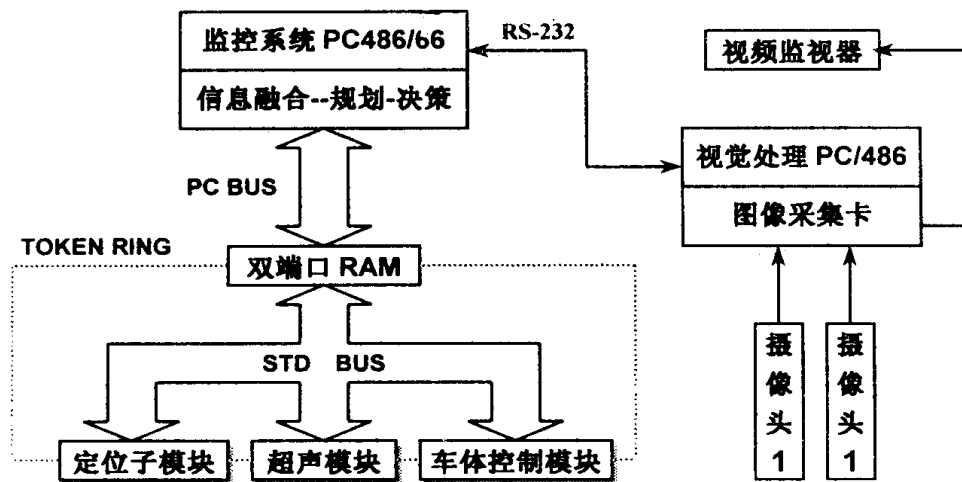


图 1 THMR-III 的硬件体系结构

Fig. 1 Hard system architecture for THMR-III

THMR-V 采用了光码盘、电磁罗盘和 DGPS 组合定位的方式. 与其他的定位方式相比, 这种组合定位方式性能价格比高, 定位精度达到了 1m, 满足 THMR-V 完成各种任务的需要.

THMR-V 的车体控制系统可以接受两种格式的驾驶控制命令. 自主行驶时, 接受监控系统发出的“速度/停车/驾驶角”命令; 遥控驾驶时, 接受指挥站发出的“油门/刹车/驾驶角”命令. THMR-V 通过一块 C3 步进电机驱动卡驱动 3 个电机, 分别控制油门踏板、刹车踏板和方向盘, 控制周期为 20ms, 保证了 THMR-V 的机动性和控制精度要求.

THMR-V 通过无线数据通讯计算机与临场感遥控驾驶系统的指挥站交互信息. 信息的传输是经由两条 4800bps 的无线数据通讯链路实现的. 无线数据通讯计算机还负责车载摄像机云台的控制, 使云台随着临场感遥控系统指挥站操作员的头部同步转动. 云台上安装了两台同型号、同参数的摄像机,

摄像机摄取的视频信号与安装在车体左右两边的拾音器采集的音频信号输入到两个电视信号发射机, 再经过双工器合成后由全向天线发出.

THMR-V 的体系结构是一种柔性的体系结构, 不同的子系统的组合以及车体控制系统的两套驾驶命令接收接口使 THMR-V 不需改变软硬件系统就能方便的完成多种任务.

3 THMR-V 在校园网道路环境中的自主行驶 (THMRV Autonomous movement in campus road network environment)

在一些军事实验场地或某些大型仓库, 由于场地面积一定以及场地内道路格局基本固定, 因此可以事先获得环境的详细信息来生成数字电子地图和地理环境信息数据库. 数字电子地图可以直观描述环境的外部面貌, 地理环境信息数据库可以提供深层次的环境信息. 只要能够实时获得在环境中的位

置、姿态信息以及车体前方的道路信息, 机器人就可以在环境中低速、中速自主行驶。

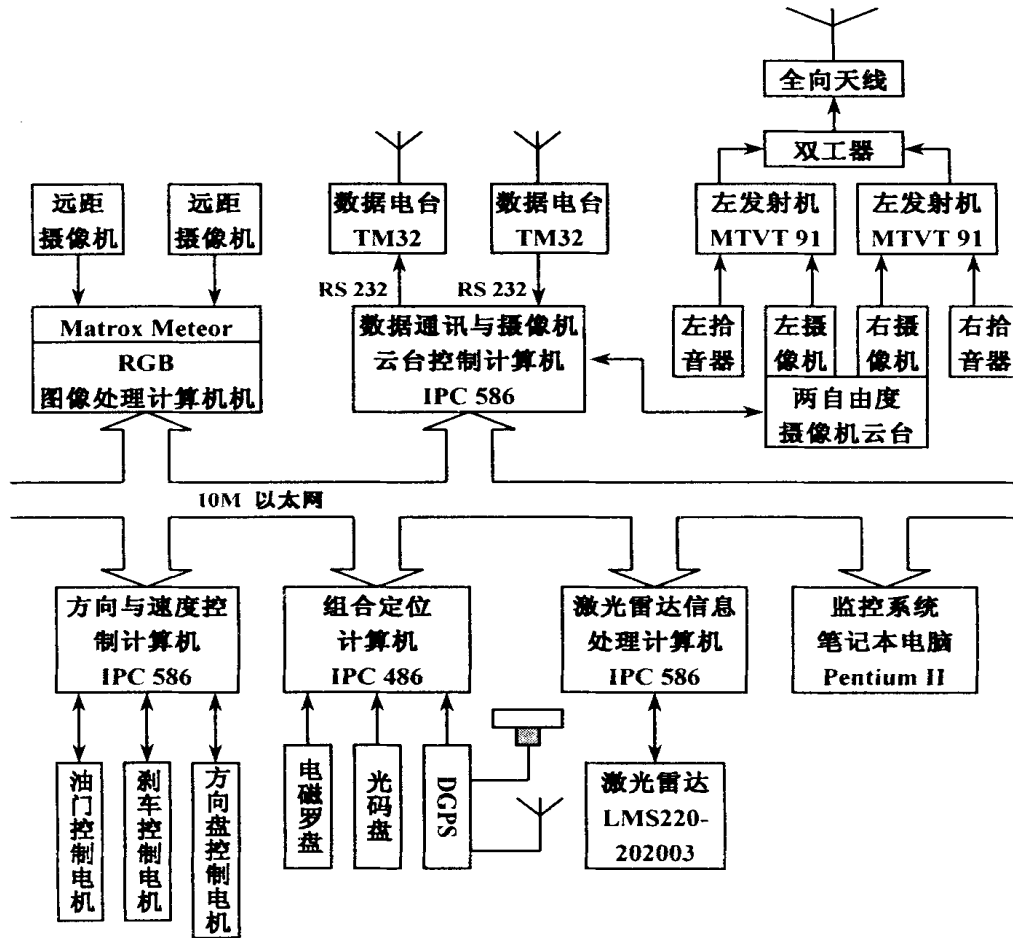


图 2 THMR-V 的硬件体系结构

Fig. 2 Hard system architecture for THMR-V

我们以清华大学的校园网道路环境模拟上述军事实验场地环境, 建立了清华大学的数字电子地图, 并在清华中央主楼前成功实现了 THMR-V 的自主行驶。目前我们采用直接在数字电子地图上标出规划点的方式生成任务规划, THMR-V 跟踪给定任务中的规划点, 在跟踪过程中根据车体前方静态、动态障碍物的信息实时实施避障或停障措施, 并根据不同路段自动切换到不同的导航模式, 最终到达任务规划中的最后节点。

今后我们将采用一种全新的任务给定方式: 操作人员在临场感遥控驾驶系统指挥站给出 THMR-V 的目标点作为任务, 目标点的信息经无线数据通讯链路发送到 THMR-V, THMR-V 收到目标点的信息后, 以当前车体所在位置为出发点, 在环境道路网中搜索一条从出发点 to 目标点最优路径并自动生成路径规划, 然后进行路径跟踪。这种下达任务的方

式符合实际需求。目前, THMR-V 在校园网道路环境中曲线段自主行驶的速度可以达到 5~7 米/小时, 在直线段行驶时, 我们限制最高速度为 10 米/小时, 以保证行人安全。

4 THMR-V 在校园网道路环境中基于视觉的监控下半自主行驶 (THMRV Semi-autonomous movement based on vision supervision in campus road network environment)

基于视觉的监控下半自主行驶是介于全自主行驶与遥控驾驶之间的一种移动机器人导航控制方式。车体行驶前, 首先摄取一幅前方道路的图像并经无线视频通讯链路将该图像发送到临场感遥控驾驶指挥站, 指挥站操作人员根据接收到的道路图像进行判断, 然后用鼠标在图像平面坐标系中画出车体

的行驶路径, 指挥站系统根据操作人员画在图像平面坐标系中的路径生成车体在车体坐标系中的规划点, 并将规划点信息经无线数据通讯链路发送到车体. THMR-V 接收到规划点信息后开始跟踪这些规划点. 当车体到达最后一个规划点后, 再摄取道路图像并发送回指挥站, 然后接收指挥站发出的规划点并跟踪. 如此周而复始, 最终完成给定任务.

5 THMR-V 在校园网道路环境中的临场感遥控驾驶 (THMRV Site remote control operation in campus road network environment)

在某些复杂环境中, 尽管建立了数字电子地图和详尽的地理信息, 但由于环境的复杂性、任务需求的特殊性以及机器人的某些局限性, 仅仅依靠机器人的自主行驶并不能圆满完成给定的任务, 这时就需要结合人类无与伦比的智能性, 由操作人员远程遥控机器人的行驶. 基于这种目的, 我们研究开发了临场感遥控驾驶系统. 临场感遥控驾驶系统由移动站子系统和指挥站子系统组成, 移动站子系统作为 THMR-V 硬件体系的一部分的已经在本文第 2 节介绍过. 指挥站的软硬件结构如图 3 所示.

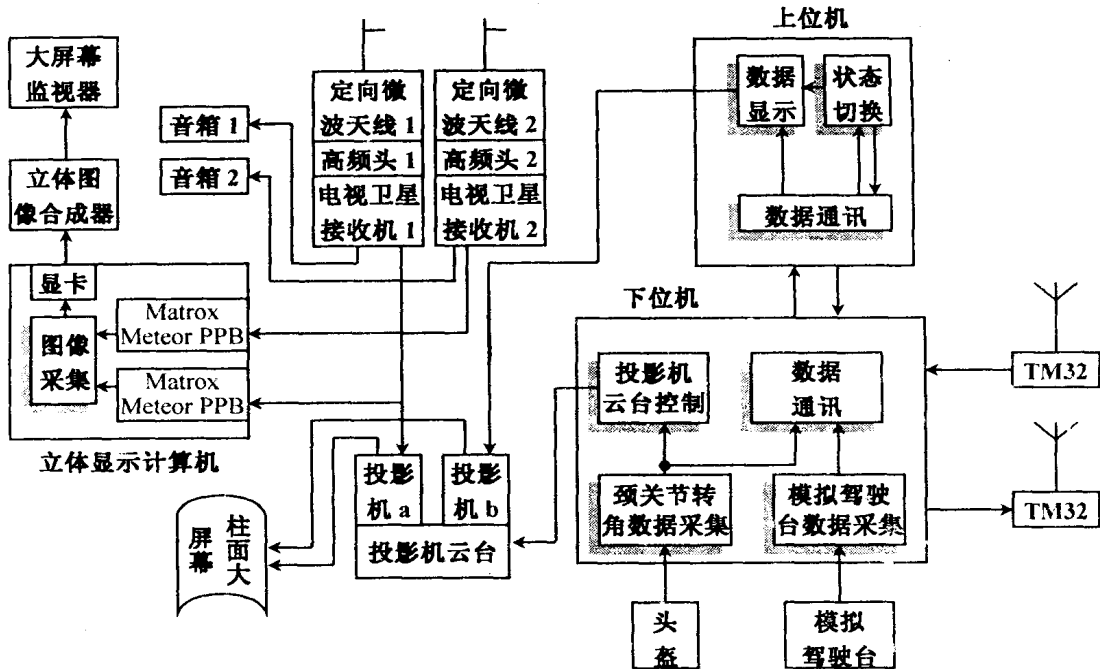


图 3 临场感遥控驾驶系统指挥站软、硬件结构示意图

Fig. 3 Software-Hardware system architecture schematic diagram for commanding station for site-sensing remote driving system

指挥站接收到移动站发回的 THMR-V 现场的视频、音频信息后, 合成为立体图像和立体声音, 指挥站的操作人员通过立体眼镜观看大屏幕显示器的立体图像, 具有与坐在 THMR-V 驾驶室里一样身临其境的感觉. 操作人员操纵模拟驾驶台产生驾驶命令, 下位机实时采集驾驶命令并由数据无线电台传输给移动站来控制 THMR-V 的行驶, 同时采集操作人员所戴头盔的转角, 一边直接控制投影仪云台, 一边将转角信息发送到移动站控制 THMR-V 车载摄

像机云台, 使摄像机云台、投影仪云台随着指挥站操作人员头部的转动而同步转动.

执行任务过程中, THMR-V 通过数据电台向指挥站发送车速、位置等车况信息, 指挥站将接收到的车况信息和一路视频信号投影到柱面大屏幕, 供指挥站其他工作人员观看参考. 2001 年 1 月, 我们研制的临场感遥控系统与清华大学、国防科技大学、浙江大学、南京理工大学、北京理工大学共同研制的军用地面智能移动机器人进行了联调, 遥控驾驶速度可

达 54 公里/小时, 并顺利通过了总装备部的验收。

6 THMR-V 在高速公路中的高速自主行驶 (THMRV Autonomous movement with high speed in expressway)

高速公路是一种高度结构化的道路, 具有车速高、通行能力大、有 4 条以上的车道、设中央分隔带, 采用立体交叉、全部或局部控制出入等特点。此外, 还具有很高的路线技术标准和永久性的路面结构、必要的道路标志, 安全设施、自动化的信号系统和完善的照明设备等。我国规定平原地区高速公路的极限最小平曲线半径为 625 米, 最大纵坡度为 3° 。以上特点使得汽车在高速公路中实现无人驾驶成为可

能。以美国 CMU、德国的 UniBwM 为代表的国外科研机构早已开始了这方面的研究, 并分别取得不俗的成果。据报道我国的国防科学技术大学也已经利用飞机场跑道模拟高速公路进行过类似实验。

根据高速公路的特征, 我们提出了采用远/近距双目视觉系统导航的方式。THMR-V 根据远距摄像机采集的车体前方 80~200 米内的道路图像提取道路方向变化信息来控制车体的速度, 通过近距摄像机采集车体前方 20~100 米内的道路图像提取车体相对于行车道的位置、方向信息控制车体的方向。

图 4 为 THMR-V 在高速公路中车道线检测与道路跟踪流程示意图。



图 4 车道线检测与跟踪算法流程图

Fig. 4 Track line detection and tracking algorithm diagram

目前我们已经完成了多种高速公路车道线检测的快速算法。采用 Pentium III 550 计算机, 内存 128M, Matrox Meteor RGB 图像采集卡, 采集标准 CCIR 灰度视频信号, 将图像压缩为 384×288 像素, 处理速度可以达到 11~13 帧/秒, 能够满足机器人在高速公路高速自主行驶的要求。

由于实地做高速公路中的高速自主行驶的实验比较困难, 目前我们只做了有关的理论研究和仿真验证。

7 结论(Conclusion)

本文介绍了多功能室外移动机器人实验平台 THMR-V 以及目前 THMR-V 所具备的功能, 今后

的研究是继续完善其临场感遥控驾驶功能和在高速公路上的自主行驶和辅助驾驶功能, 并将在 THMR-V 研制过程中获得的关键技术应用用于其他领域。

参考文献 (References)

- 1 艾海舟, 张朋飞, 何克忠, 张军宇等. 室外移动机器人的视觉临场感系统. 机器人, 2000, 22(1): 28-32
- 2 张朋飞, 艾海舟, 何克忠. 高速公路车道线的快速检测跟踪算法. 机器人, 1999, 21(7): 579-587

作者简介:

张朋飞 (1971-), 男, 博士研究生. 研究领域: 临场感遥控系统, 视觉导航系统。

何克忠 (1936-), 男, 教授. 研究领域: 移动机器人, 计算机控制技术。