

四足步行机器人研究现状及展望

Research situation and prospect on quadruped walking robot

王吉岱, 卢坤媛, 徐淑芬, 雷云云

WANG Ji-dai, LU Kun-yuan, XU Shu-fen, LEI Yun-yun

(山东科技大学 机械电子工程学院, 青岛 266510)

摘 要: 文章对国内外四足步行机器人研究现状进行了综述, 归纳分析了四足机器人研究的关键技术, 并展望了四足机器人的发展趋势。

关键词: 四足步行机器人; 研究现状; 关键技术; 发展趋势

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1009-0134(2009)02-0004-03

0 引言

目前, 常见的步行机器人以两足式、四足式、六足式应用较多。其中, 四足步行机器人机构简单且灵活, 承载能力强、稳定性好, 在抢险救灾、探险、娱乐及军事等许多方面有很好的应用前景, 其研制工作一直受到国内外的重视。本文介绍了国内外在机构设计、步态、控制等方面已经取得的进展, 并分析了其中的关键技术。最后, 归纳总结了未来四足步行机器人的几个发展趋势, 以期对以后的研究工作具有指导作用。

1 国内外四足步行机器人的研究历史和现状

20世纪60年代, 四足步行机器人的研究工作开始起步。随着计算机技术和机器人控制技术的研究和应用, 到了20世纪80年代, 现代四足步行机器人的研制工作进入了广泛开展阶段。

世界上第一台真正意义的四足步行机器人是由Frank和McGhee于1977年制作的。该机器人具有较好的步态运动稳定性, 但其缺点是, 该机器人的关节是由逻辑电路组成的状态机控制的, 因此机器人的行为受到限制, 只能呈现固定的运动形式^[1]。

20世纪80、90年代最具代表性的四足步行机器人是日本Shigeo Hirose实验室研制的TITAN系列。1981~1984年Hirose教授研制成功脚部装有传感和信号处理系统的TITAN-III^[2]。它的脚底部由形状记忆合金组成, 可自动检测与地面接触的状态。姿态传感器和姿态控制系统根据传感信息做出的控

制决策, 实现在不平整地面的自适应静态步行。TITAN-III^[3]机器人采用新型的直动型腿机构, 避免了上楼梯过程中各腿间的干涉, 并采用两级变速驱动机构, 对腿的支撑相和摆动相分别进行驱动。

2000-2003年, 日本电气通信大学的木村浩等人研制成功了具有宠物狗外形的机器人Tekken-IV, 如图1所示。它的每个关节安装了一个光电码盘、陀螺仪、倾角计和触觉传感器。系统控制是由基于CPG的控制器通过反射机制来完成的。Tekken-IV能够实现不规则地面的自适应动态步行, 显示了生物激励控制对未知的不规则地面有自适应能力的优点。它的另一特点是利用了激光和CCD摄像机导航, 可以辨别和避让前方存在的障碍, 能够在封闭回廊中实现无碰撞快速行走。

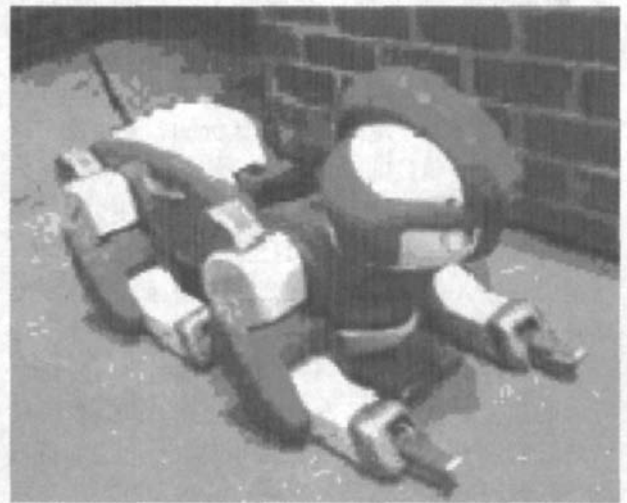


图1 Tekken-IV 机器人

目前最具代表的四足步行机器人是美国Boston

收稿日期: 2008-09-11

作者简介: 王吉岱(1961-)男, 山东泰安人, 教授, 硕士, 研究方向为机器人技术的开发与应用, 机电产品的设计、开发与应用。

dynamics 实验室研制的 BigDog^[4], 如图 2 所示。它能以不同步态在恶劣的地形上攀爬, 可以负载高达 52KG 的重量, 爬升斜坡可达 35°。其腿关节类似动物腿关节, 安装有吸收震动部件和能量循环部件。同时, 腿部连有很多传感器, 其运动通过伺服电机来控制。该机器人机动性和反应能力都很强, 平衡能力极佳。但由于汽油发电机需携带油箱, 故工作时受环境影响大, 可靠性差。另外, 当机器人行走时引擎会发出怪异的噪音。



图 2 BigDog

国内四足机器人研制工作从 20 世纪 80 年代起步, 取得一定成果的研究机构有上海交通大学、清华大学、哈尔滨工业大学等。

上海交通大学机器人研究所于 1991 年开展了 JTUWM 系列四足步行机器人的研究。1996 年该研究所研制成功了 JTUWM—III, 如图 3 所示。该机器人采用开式链腿机构, 每条腿有 3 个自由度, 具有结构简单、外形灵巧、体积小、重量轻等特点。它采用力和位置混合控制, 脚底装有 PVDF 测力传感器, 利用人工神经网络和模糊算法相结合, 实现了对角线动态行走。但其步行速度较慢, 极限步速仅为 1.7km/h; 另外, 其负重能力有限, 故在实际作业时实用性较差。

清华大学所研制的一款四足步行机器人, 如图 4 所示。它采用开环关节连杆机构作为步行机构, 通过模拟动物的运动机理, 实现比较稳定的节律运动, 可以自主应付复杂的地形条件, 完成上下坡行走、越障等功能。不足之处是腿运动时的协调控制比较复杂, 而且承载能力较小。

综上所述, 美国、日本的研究最具代表性, 其

技术水平已经较为先进, 实用化程度也在逐步提高。国内四足步行机器人的研究起步比较晚, 在上个世纪 90 年代以后才逐步有了成果, 但研究水平据世界先进水平还有差距。



图 3 JTUWM-III

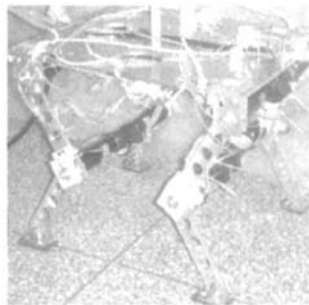


图 4 清华大学四足机器人

2 国内外四足步行机器人的关键技术分析

从 20 世纪 60 年代至今研究者们对四足步行机器人关键技术的分析做了大量的工作, 在一些基础理论问题上取得了一定的突破, 使四足步行机器人的技术水平不断得到提高。

2.1 机械本体研究

四足步行机器人是机电一体化系统, 涉及到机构、步态、控制等, 而机械机构是整个系统的基础。在机械本体的设计中腿部机构设计是关键。目前, 研制的四足步行机器人的腿部机构形式主要有缩放型机构^[5]、四连杆机构、并联机构^[6]、平行杆机构、多关节串联机构和缓冲型虚拟弹簧腿机构。其中, 并联机构可以实现多方位运动, 且负载能力强, 所以具有较好的应用前景, 但控制系统较为复杂。另外, 含有弹性元件的缓冲型虚拟弹簧腿机构, 利用弹性元件把刚性连接变为柔性连接, 减缓机器人在动态行走时的冲击以及由此产生的振动, 因此该机构应用越来越广泛。

2.2 步态研究

步行机器人几种典型步态有: 爬行、对角小跑、溜蹄、跳跃、定点旋转、转向等。在文献[7]中, 提出了爬步态的理论, 并证明了该步态具有最大的静稳定性。对角小跑步态属于动态稳定步态, 能够提高运动速度。跳跃式步态较其它步态在前进的效率上具有明显的优势, 但是由于受到腿机构的摆动惯性力和关节处大冲击力的影响, 因此需要较大的瞬时驱动力。另外, 跳跃持续的时间是短暂的, 为了保证机器人实时可控, 必然需要在极短的时间内采

集多种信号,这对目前的驱动元件和传感器都提出了极高的要求。目前所研究的各种步态中,跳跃步态的研究是最具挑战性的难点问题。

2.3 控制技术研究

复杂四足步行机器人的控制系统是非线性的多输入和多输出不稳定系统,具有时变性和间歇动态性。目前四足机器人的步行运动大多数是基于步态的几何位置轨迹规划、关节位置控制的规划和控制策略。而对机器人进行单纯的几何位置规划与控制,则会由于惯性、脚力失衡等因素而导致机器人失稳。解决这个问题关键就是突破单一的位置规划与控制策略,实施机器人力、位置混合控制。在步态生成和控制方面,有理论突破意义的是基于生物中枢模式发生器(CPG)原理的运动控制方法。

2.4 驱动能源研究

在线提供能源受到空间的限制,而蓄电池组受体积和重量的限制,因此寻求提供持续可靠的离线自带电源就成了必须。随着新型电池的研发,新型太阳能电池、燃料电池、锂电池等成为较为理想的能量供给来源。另外,通过微波对微型机器人提供能量和控制信号也是一种较为可观的方法。

3 四足步行机器人的研究趋势

随着足式机器人的研究日益深入和发展,四足步行机器人在速度、稳定性、灵活性和对地面的适应性等方面的性能将不断提高,自主化和智能化将逐步实现。综合分析,在未来的研制中四足步行机器人有以下几个发展趋势。

3.1 实现腿机构的高能、高效性

动物的肌腱肌肉均是高效储能和节能的元件,能够解决高速稳定行走和能量利用率的问题。而四足步行机器人的腿机构和关节均为刚性连接,不但不能储能,且因触地的冲击,要消耗掉许多能量。因而高功率密度且具有缓冲储能措施的腿机构是未来的研究热点问题。

3.2 轮、足运动相结合

足式移动方式与轮式技术的结合,既可通过轮式调节控制移动的效率,也可利用腿机构实现越障、避障等高效运动。目前国内外开展了轮、足相结合机器人的相关研究,在以后的研究工作中轮、足相结合的研究力度会进一步加大。

3.3 步行机器人微型化

微型步行机器人有着广阔的应用前景,它可以广泛应用于各类科学探索、工业作业中,例如可在狭小的空间如管道内行走、作业和维修等。

3.4 增强四足步行机器人的负载能力

目前四足步行机的研究主要集中在小型轻便、易于控制等方面,距离低能耗、高负载的要求还有一定的差距,在进行野外实际作业时实用性较差。基于此,开展负载能力强、步行机构能耗低的四足机器人的研究也是未来研究的一个重要的方向。

3.5 机器人仿生的进一步深化

仿生四足机器人不能仅仅限制在模仿机构上,还应该模仿生物的一些功能,如蝙蝠的听觉、狗的嗅觉、蜻蜓的视觉等。

4 总结

尽管四足步行机器人技术有了很大的发展,足式机器人的研究平台有很多,但制约四足机器人技术进一步发展的基础理论问题并没有得到根本的解决,其中,许多样机还达不到生物简单运动的速度和稳定性。正如著名机器人学家Geles教授所言:“步行机器人的理论研究步伐要远远落后于其技术开发的步伐”。现有的四足机器人的基础技术研究尚不够成熟和完善,足式机器人的关键技术还有待于进一步大力开发。

参考文献:

- [1] McGhee, R.B. Robot locomotion[A]. In R. Herman, S. Grillner, P. Stein, and D. Stuart, editors, Neural control of locomotion [C]. Plenum Press, 1976:237-264.
- [2] Shigeo Hirose, Tomoyuki Masui, Hidekazu Kikuchi. TITAN-III: A Quadruped Walking Vehicle-Its Structure and Basic Characteristics. Robotic Research(2nd Int. Symp.). The MIT Press, 1985:325-331.
- [3] Quadruped Walking Machine TITAN-VI [EB/OL].
- [4] The Most Advanced Quadruped Robot on Earth [EB/OL].
- [5] 查选芳,张融甫. 多足步行机器人腿机构的运动学研究[J]. 东南大学学报, 1995, 25(2).
- [6] 郭成,谈士力,翁盛隆. 微型爬壁机器人研究的关键技术[J]. 制造业自动化, 2004, 26(7).
- [7] R.B. McGhee, A.A. Frank. On the Stability Properties of Quadruped Creeping Gaits[J]. Mathematical Biosciences, 1968, 3: 331-351.