

# 球形机器人的发展概况综述

□ 邓宗全 岳 明

哈尔滨工业大学机电工程学院

[摘 要] 本文介绍了国内外各种球形机器人,并且对球形机器人的独特优势进行归纳,在对研究现状进行分析的基础上预测了球形机器人再进一步开发过程中可能存在的难点,指出球形机器人逐渐结合其它种运动方式的发展趋势。

[关键词] 球形机器人,滚动运动,组合,非完整系统。

[Abstract] In this paper, all kinds of spherical robots at home and aboard are introduced in detail. The special advantages of spherical robot are summarized and the possible problems in their developing are analyzed. In addition, the future trend of compounding the other types of movement is presented.

[Keywords] Spherical robot, rolling movement, compounding, nonholonomic system.

## 1. 概况

球形运动机器人是一种以球形或近似球形为外壳的独立运动体,它在运动方式上以滚动运动为主。由于这种运动方式和外壳的特殊性,使球形机器人与以往我们熟知的轮式或轨道式的机器人有很大的不同。

该类机器人在转向时具有独特的优势,比其他运动方式能更灵活地转向;当运动机构发生高空坠落等危险情况时,球形装置可迅速调整运行状态,进行连续工作;在探测过程中,当与障碍物或其他的运动机构发生碰撞时,球形结构具有很强的恢复能力。另外由于球体滚动的阻力相对滑动或轮式装置的运动阻力小很多,所以球形机器人具有运动效率高、能量损耗小的特点。

针对以上优势,球形机器人可以应用于危险环境的探测、管道内部的焊缝检测、进行监控侦察等方面。目前,国内外越来越多的专家和学者开始重视这一类机器人的研究与开发。

## 2. 国外发展情况

### 2.1 球形机器人 Spherical Mobile Robot

Aarne Halme等人在1996年研制出了第一台具有真正意义上的球形运动机构。该机构的运动原理是通过内部驱动单元 IDU (Inside Drive Unit) 的运动来打破球体的平衡。IDU是一个与电机固联的驱动轮,通过轮的转动控制运动方向的改变。球体的球壳是由有机玻璃或其它相似的材料制成的,以保证球体内部构件能够与外部控制部分进行无线电通讯。

---

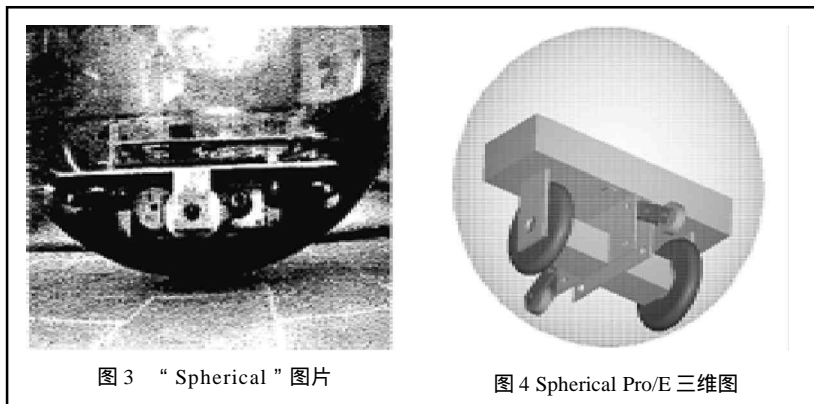
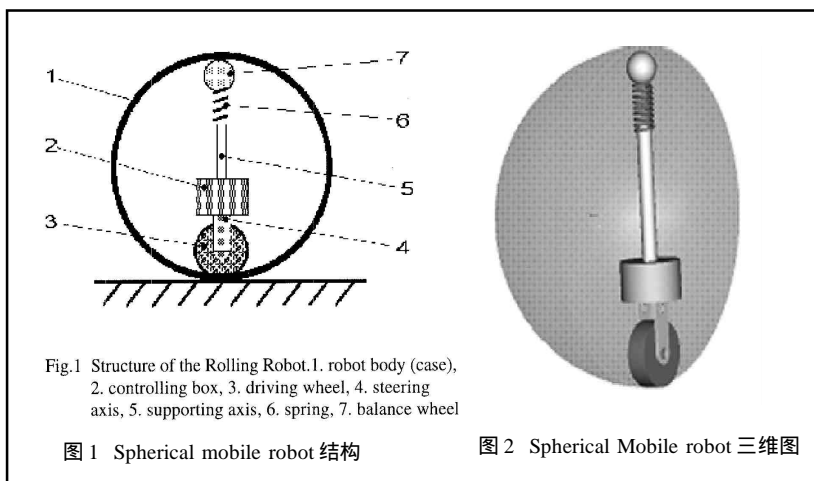
[作者简介] 邓宗全,男,1956年生,哈尔滨工业大学机电工程学院教授、博士生导师。研究方向为特种机器人。

联系。图1和图2分别是Halme研制的球形运动机器人 (Spherical Mobile Robot) 的内部结构简图及Pro/e模型图。

## 2.2 球形机器人 Sphericle

1997年, Antonio Bicchi 推出了自行设计的球形机器人“Sphericle”。这种机器人在结构上较为简单, 是将一个小车放置在球体的内部, 小车的每个车轮各装有一个驱动电机, 在车轮的前后用弹性支撑轮进行支撑。两轮小车携带有动力源、传感器、蓄电池和控制系统, 所有这些设备构成较重的质量块。这样, 小车在自身的重量作用下, 将车轮与球壳之间的滑动减少到最小。在运动分析上, 是将平面—球系统模型与独轮车系统模型进行叠加来进行的。“Sphericle”的原始图片和Pro/e模型如图3、4所示。

## 2.3 球形机器人 Spherical Rolling Robot



球形滚动机器人是 Shourov Bhattacharya 和 Sunilk. Agrawal 在2000年提出来的。它的外壳采用铝合金材料, 由上、下两个半球壳组成。在每个半球壳内部均包含有接收器、电机设备、转子和蓄电池, 电池安装在电机转子轴上。它的驱动系统是由两个互相垂直的转子构成的。电机和电池的把持装置通过螺栓安装在球壳上。球体外表面有六个十字形的标记, 这些标记是为了让安装在空中的摄像机对球形滚动机器人进行定位。球体内的各部件对称分布, 这样, 保证了机器人的质心位于球体几何形心。有效地防止了球体发生翻转。图5是球形滚动机器人的两张图片资料。

## 2.4 全方位球形运动机器人 August

Amir Homayoun Javadi A.和Puyan Mojabi 在2002年开发了一种全方位球形运动机器人, Javadi 和 Mojabi 等人将它命名为“August”。机器人实行自主式供电, 逻辑控制系统一部分安装在球体内

部板块, 一部分安装在球体外部控制模板上, 通过无线电进行连接, August 是本着中心对称的原则进行装配的, 以使球体的质心和形心重合。其实物模型如图6所示。

August的驱动系统是由四个螺丝状的轮辐所构成的, 它们安装在一个四面形结构的器件上, 彼此之间互成  $109.47^\circ$ , 每个轮辐上携带有  $1.125\text{kg}$  重的砝码, 能够进行上下升降, 控制升降运动的电机直接安装在轮辐之上, 如图7所示。

球体的外部被喷涂成蓝色, 有两条正交的红色条形带环绕在球体上, 这些记号都是用来对球体进行定位的。August的控制系统是由一个便携式的摄像机安装个系列的

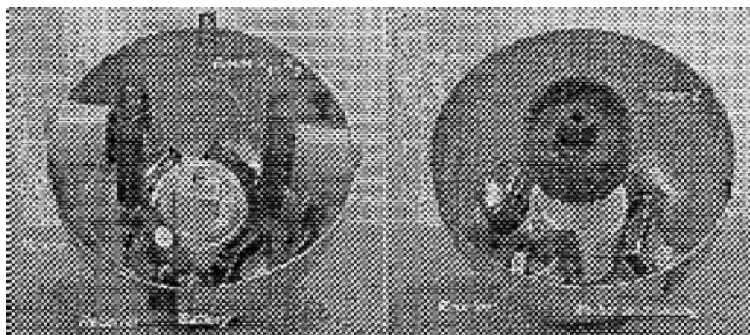


图5 Spherical rolling robot 模型



图6 August 内部驱动系统

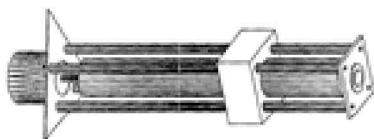


图7 轮辐的结构



图8 球形机器人原型



图9 IDU-5 的三维模型



图10 Roball 的原型



图11 Sony Robot 的原型

在球体的正上方2.6m处,摄像机所拍摄的图像被发送到装于计算机内的数据采集卡中。

## 2.5 Ball-shape Robot

从1995-2002年 A.Bicchi等人先后生产了近十

种球形机器人,最新型的球形机器人的外壳上采用透明的材料,两个半球壳在中间支撑部分进行连接,内部的驱动单元的质心位于球体形心的正下方。机器人的各种运动功能通过两个电机的工作来实现,其模型及主体的驱动部分IDU-5如图8、9所示。

## 2.6 Roball

Roball (如图10所示)代表了一类用于娱乐和家庭服务功能的球形机器人。当Roball遇到四种不同的情况时采取相应的滚动速度和运动方向,依照优先权来分这四种情况,依次是:突发事件、旋转、直行和巡航。通过语音系统,在遇到不同的情况时,可以发出各种声音或者播放不同的音乐,以增加和孩子的交流能力。

与Roball相似,日本的索尼公司生产的Sony Robot (如图11所示)球形机器人,也是主要用于家庭使用。在家庭环境的有限空间中,它具有安全和可操作性强的特点。

## 3. 国内的情况

### 3.1 球型智能运动单元

北京航空航天大学机器人研究所设计了一种新型月球探测车运动机构-球型智能运动单元(Spherical Smart Moving Unit),该单元将机构、电机、驱动器 and 控制器集成密封

在一个球形的壳体内。它采用内部驱动的方式来控制球体的运动,依靠陀螺力来获得它的动态稳定性。球型智能运动单元可以通过无线或有线的通讯方式接收外部的运动指令,也可以做自主运动,它具有



前进、后退、左转或右转等运动功能。该球型智能运动单元既可以作为一个独立的运动实体,也可以作为车轮机构构成一个多轮驱动的月球探测车。

### 3.2 北京邮电大学研制的球形机器人

北京邮电大学研制了一种球形机器人,球形机器人实物如图12所示。该球形机器人通过调整 and 改变重心位置而产生的驱动力矩来实现机器人的滚动。其运动的具体实现是通过两个电机分别驱动两组齿轮传动机构,从而带动相应的配重块向期望的方向偏转,以改变其重心位置,最终使得整个球体向期望的方向移动。同时,通过调节其重心向两边偏斜,可以产生实现机器人转向功能时所需要的力矩。

### 3.3 哈尔滨工业大学研制的“球形运动器”

哈尔滨工业大学宇航与空间机构研究所早在2002年便对球形机器人进行了研究,设计制造了一种名为“球形运动器”的装置。该运动器是轴线共线的两个电机来进行控制的,分别实现运动器的驱动和转向两种运动方式。球体直径350mm,整机重量6.6kg,驱动质量1.05kg,驱动半径R89.5kg。该球形运动器结构简单,重量轻,力学性能良好。具体实物如图13所示。

## 4. 球形机器人的发展趋势

尽管球形机器人在内部结构上千差万别,但大多数都采用重力矩进行驱动,重力矩在具体的实现形式上一般是设法使机器人的重心偏离球体的几何形中心。由于球形机器人球形的外壳结构和滚动的

运动方式,使球形机器人在发展的过程中,不可避免的遇到下列问题:

1、球形机器人在运动过程中,与接触面发生近似的点接触,所以它的稳定性较差。在爬坡、越障过程中,受外界干扰后,很难恢复原来的运动轨迹。

2、典型的机械手等执行机构,安装在球形机器人上面比较困难。

3、球形运动机器人的控制涉及到一个非完整系统的概念,非完整系统在减少机械结构复杂性的同时,对系统的分析和控制带来了很大的难度。在运动控制上,不能应用有效的线性理论,来对该类机器人进行控制。所以运动控制是阻碍该类机器人发展的一个难点。



图 13 球形运动器实物图

针对上述情况,需要对球形运动器在设计理念上进行创新。除了在内部结构上进行改进之外,在运动方式上,近年来,趋向于将球形机器人的滚动运动与其它种运动方式进行融合。这样,既可以保证球形机器人的滚动运动优势,同时,又可避免滚动胶外壳,外壳具有很大的弹性,与坚硬的地面发生碰撞时,能够弹起,从而完成其独特的跳跃运动。

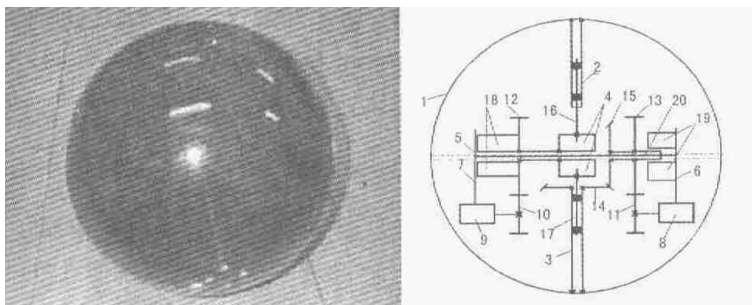


图 12 球形机器人实物及内部结构图

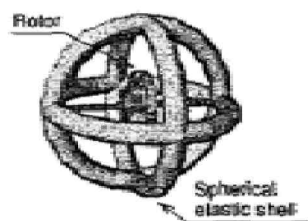


图 14 Sony Robot 的原型



图 15 Hopping Robot 的原型

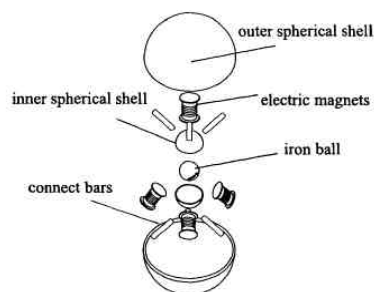


图 16 Sony Robot 的原型

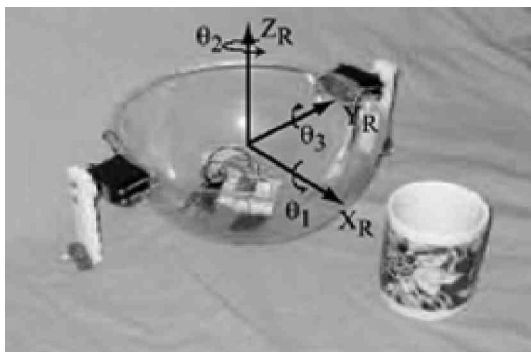


图 17 Sony Robot 的原型

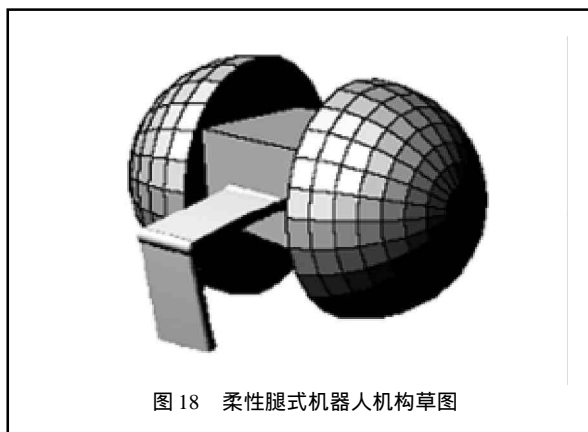


图 18 柔性腿式机器人机构草图

运动所带来的不利因素。

#### 4.1 与弹跳运动的结合

这类球形机器人是针对行星表面的微重力情况开发出来的一种行星探测车，由于行星上独特的微重力情况，使探测车很难获得足够的摩擦力驱动机器人行走。但同时，一旦在水平方向上获得了速度，它就很难停止下来，重力减小的同时也可以使该球形机构跳起更高的高度。

##### 4.1.1 利用弹性力

图14所示的球形运动机器人采用的是一种固体橡胶通过控制球体入射前的角度和速度，可以对球体碰撞后的路径和高度进行规划，内部的转子可以加大碰撞效果。而图15所示的Hopping Robot球形机器人的弹跳力来源于内部的弹簧。

##### 4.1.2 利用电磁吸附

图16所示的Sony Robot机器人在结构上，采用四个均布的电磁体和一个铁球的主体机构，通过电磁体对铁球的不同吸附顺序和方式，可以使机器人实现地面上的滚动、水平和垂直方向上的跳动。同时，在跳起的过程中，它还可以进行重新定位。

#### 4.2 与摇摆运动的结合

##### 4.2.1 Rocking and Rolling Robot

图17是一个典型的腿式球形机器人的实例，它的结构是由一个半球壳和两个对称分布在其左右两侧的腿式结构组成的。这种机器人通过两个腿的摆动，来调整机器人的姿态，它能够产生前进、侧移和旋转运动。其模型如图15所示。

##### 4.2.2 柔性腿式球形机器人

A. Bicchi 为了改善球形机器人的越障性能，提出了一种安装柔性腿式的球形机器人。球体在滚动过程中，遇到障碍时，球体的两个半球彼此分开，原本折叠在球体内部的柔性腿伸出，可以起到支撑或者越障的作用。如图18所示。

参考文献(略)共14篇