

几何机器人的研究与发展

姚燕安

北京交通大学机械与电子控制工程学院, 北京 100044

阐述了了几何机器人的基本概念、数学构型、力学机制、工程应用、艺术设计及哲学思考。以几何机器人的科学研究为基础, 提出以几何机器人为载体的MSEAP研究与教育理念, 即将数学、科学、工程、艺术和哲学融合于几何机器人的学习、研究以及应用, 旨在修养形成数学家的逻辑思维、科学家的创新精神、工程师的实践能力、艺术家的美学视野、哲学家的普世情怀。

机器人的概念, 首先为大众所熟知的, 是指仿人型的两足机器人, 称为“足式机器人”。再者, 研究者将足式机器人的概念扩展至包括四足仿马机器人、六足仿昆虫机器人、八足仿蜘蛛机器人等机器动物。此外, 还有非足式的蛇形机器人。进而, 广义的机器人概念还包括虽并非人或动物形态、但也具有移动能力的轮式机器人、履带式机器人、球形机器人以及轮腿、轮履等各种复合式机器人。

几何机器人的概念, 与轮式、履带式、足式、蛇形及球形等现有各类机器人均不相同^[1-3]。几何机器人是由多个连杆通过活动铰链铰接构成的三角形、四边形、五边形及各种多边形, 以及四面体、五面体、六面体及各种多面体, 或者网格图形、组合图形等几何形体, 具有折叠、缩放、扭曲等可变外形的能力, 并可实现以步行、滚动、爬行、滑行等各种移动模式在地面上移动。

简要而言, 依据几何图形以连杆机构制成物理实体, 并施加动力使其变形且可在地面上行走, 将此类新概念机器人命名为“几何机器人”。

1 几何机器人的数学构型

欧式几何学分为平面几何和立体

几何。在平面几何中, 三角形和四边形是最为基础的几何图形。本文首先介绍研制的三角形机器人、四边形机器人和各种多边形机器人。

1.1 多边形机器人

如以三角形组成物理实体, 则因其为固定结构, 不能变形, 也不能移动。欲使一个三角形移动, 必先设法使其能够变形。将三角形的每条边均设计成以移动关节连接的两个杆, 每个角均设计成为转动关节。如此, 即得到一个三条边的边长和三个角的角度均可变化, 并因而整体上可变形的三角形。在此三个移动关节和三个转动关节中任选

三个安装电机, 控制三个电机的旋转角度, 即可使得此三角形的三个边长和三个角度产生变形。

将此三角形置于地面上, 以一条边的底部着地, 三角形平面与地面垂直。在结构设计上, 需要使每条边的宽度适当, 以使三角形不会左右翻倒。这样, 按照一定的逻辑次序, 控制三个驱动电机改变三条边长和三个角度, 即可使得三角形的重心向左(或向右)移动, 称其为“滚动三角形机器人”, 如图1所示^[4]。

若改变杆件的形状, 则可改变三角形机器人的移动方式。例如, 将三角形的两条边进行延长作为双足, 交替使用

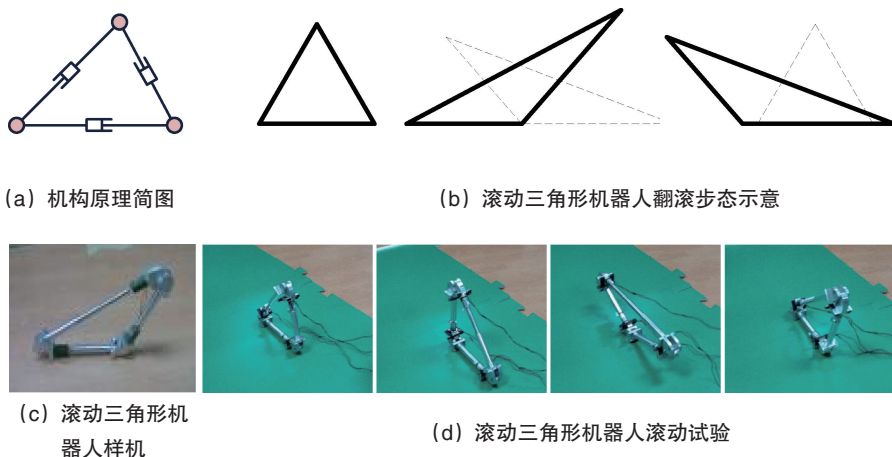
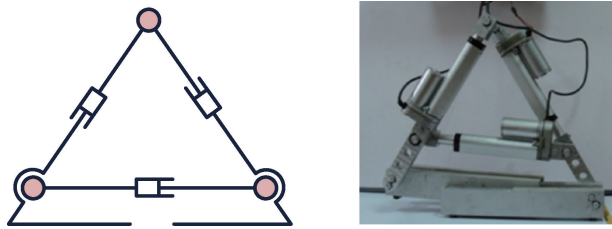


图1 滚动三角形机器人

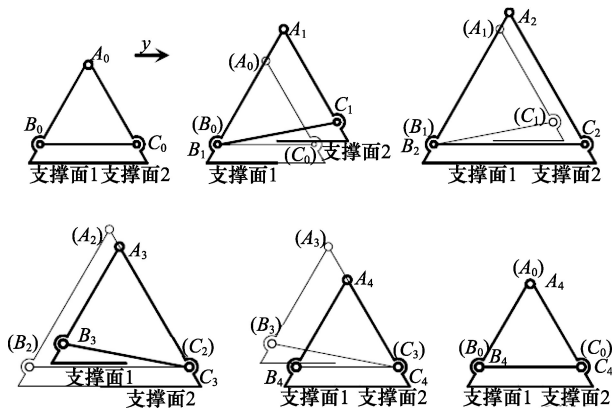


两足支撑地面,使其具有步行的移动能力,则称为一种步行三角形机器人^[5-7],如图2所示。



(a) 机构原理简图

(b) 步行三角形机器人样机



(c) 步行三角形机器人步态示意图

图2 步行三角形机器人

以四边形构成的连杆机构,在机构学中称为“四杆机构”,是最为经典的机构,它与齿轮机构奠基了机械学科。四

杆机构的传统设计用法,是将一个杆作为机架、以一个杆作为输入杆、以另一个杆与机架的相对运动作为输出。提出用四杆机构来构造一个整体式的地面移动机器人,它可用滚动、步行、滑行、爬行或者翻滚方式移动。这是一个全新理念,与连杆机构数百年来应用思想截然不同。如图3所示,滚动四边形机器人通过四边形整体质心的移动实现滚动^[4,8,9],步行四边形机器人则通过左右足

步行移动^[10]。同理,也可设计反平行四边形机器人,它具有类似翻跟头的移动模式^[11]。

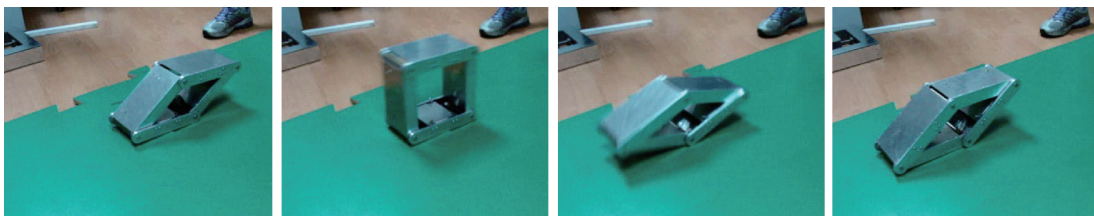
据此推理,可设计各种多边形机器人,如图4所示六边形机器人。不难发现,随着边数的增加,机器人的变形能力也在逐渐增强。六边形机器人可变形为三角形、四边形、五边形,可模仿履带的方式进行滚动^[12]。此外,改变6个转动关节的轴线方向,可以得到可滚动的空间六边形机器人,也称为空间六连杆机构^[12-14]。

1.2 多面体机器人

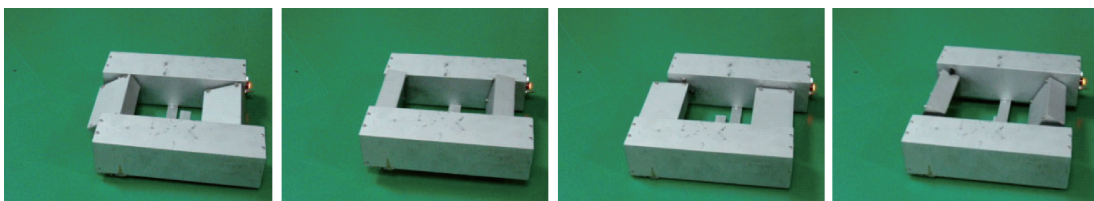
以空间多面体为基础,研制了包括正四面体机器人、正六面体机器人及削楞截角六面体机器人等数款多面体机器人^[15-21],如图5所示。

1.3 网格机器人

以四边形机器人为基本单元,进行平面上的拓展与组合,可获得平面网格形几何机器人。图6所示为由2、3、4个平行四边形单元的平面组合移动机器人,随着平行四边形单元的数量增加,该系列几何机器人的移动灵活度得以提高^[4,8,9,22]。



(a) 滚动四边形机器人



(b) 步行四边形机器人

图3 四边形机器人

以四边形机器人为基本单元,进行空间上的拓展与组合,可获得空间网格形几何机器人。图7所示为基于平行四边形单元的空间组合移动机器人,以四边形为基本构造单元,在空间内进行

正交研制出的系列移动机器人^[4,8,9,23-25]。图7(a)所示的平行四边形移动机器人需要依靠一定速度与惯性进行翻滚动作,然由于其轴线相互平行,因此只能沿单一方向滚动。图7(b)所示的双正

交平行四边形组合移动机器人将两个四边形构造单元进行空间正交,因此获得了转向功能。图7(c)所示的三正交平行四边形组合移动机器人在双正交平行四边形组合移动机器人的基础上

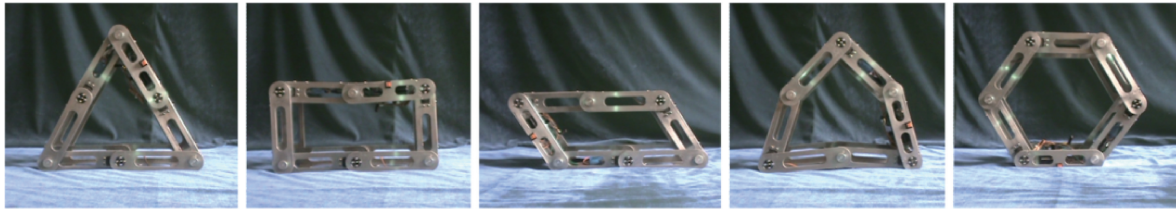
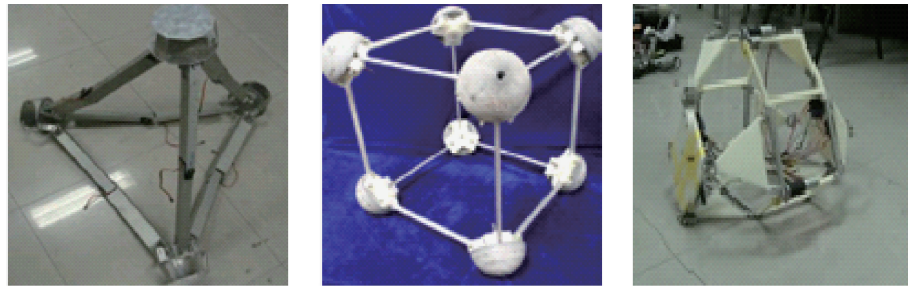


图4 六边形机器人

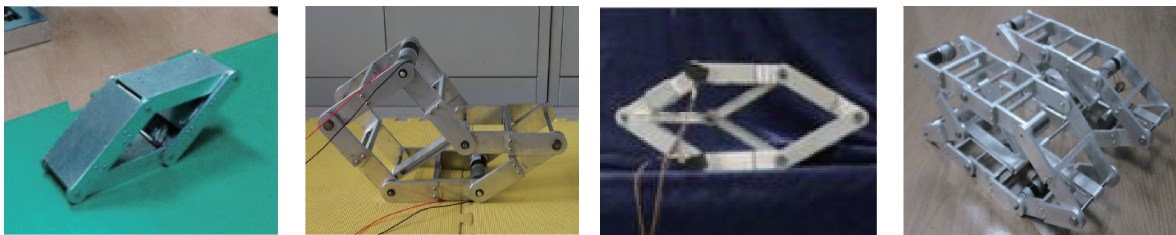


(a) 正四面体机器人

(b) 正六面体机器人

(c) 削楞截角六面体机器人

图5 多面体几何机器人



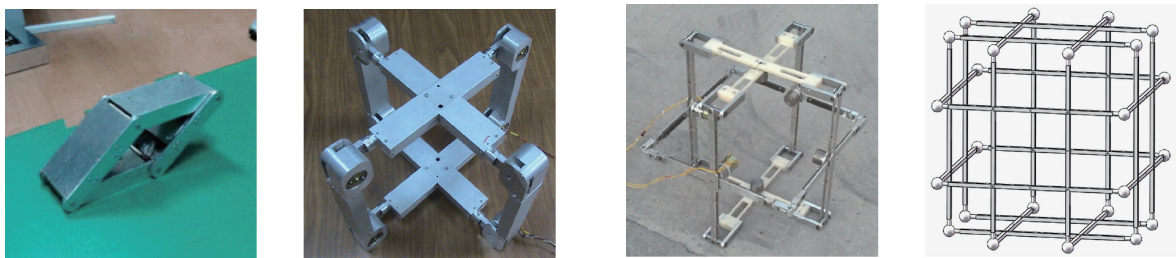
(a) 平行四边形机器人

(b) 双平行四边形组合
移动机器人

(c) 3-平行四边形组合移动
机器人

(d) 4-平行四边形组合移动
机器人

图6 基于平行四边形单元的平面组合移动机器人



(a) 平行四边形
移动机器人

(b) 双正交平行四边形
组合移动机器人

(c) 三正交平行四边
形组合移动机器人

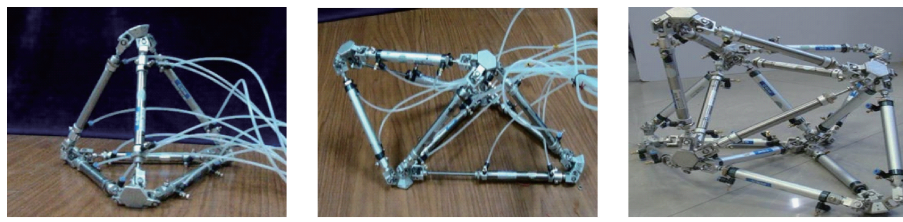
(d) 多正交平行四边形组
合移动机器人

图7 基于平行四边形单元的空间组合移动机器人

再加入一个正交的四边形,使其获得了更强的移动能力与结构刚度。图7(d)所示的多正交平行四边形组合移动机器人在前者的基础上进行网格化处理,进一步具备了完全中心对称的特性,并获得了更为强大的移动能力。

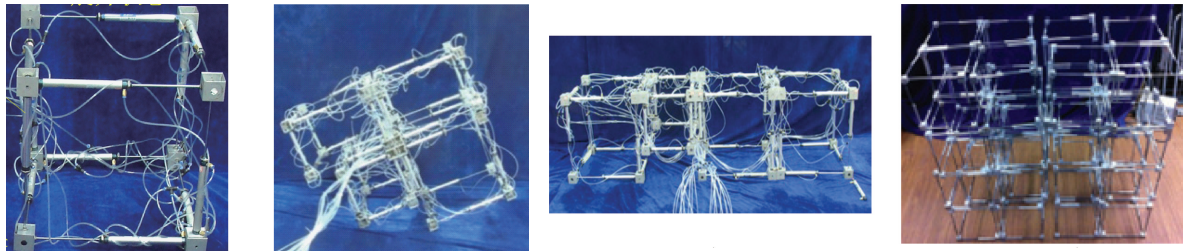
以可伸缩的四面体为基本单元,进行拓展与组合,可获得如图8所示的组合四面体移动机器人,其中每个缩放单元由顶点单元和伸缩杆单元组成,采用特定的组合方式将多个缩放单元的顶点或棱边进行连接,并通过规律性规划

伸缩杆件间的伸缩运动,可实现多种运动步态,如滚动、步行、攀爬等^[26-28]。以可伸缩的立方体为基本单元,进行拓展与组合,可获得如图9所示的组合立方体移动机器人^[26,29,30]。



(a) 单四面体移动机器人 (b) 双四面体组合移动机器人 (c) 5-四面体组合移动机器人

图8 组合四面体移动机器人



(a) 单立方移动机器人 (b) 4-立方体组合移动机器人I型 (c) 5-立方体组合移动机器人II型 (d) 32-立方体组合移动机器人

图9 组合立方体移动机器人

1.4 变形机器人

图10所示为一种可缩放的滚动连杆机器人,该机构由180个气动伸缩杆构成,在气缸控制下可实现在地面上全方位移动,完全对称的机械结构使其能够在任意稳定状态下实现步行、滚动和转向,全移动关节框架式机构型提供了大的缩放比并创造出了大的内部可用空间。

由于机器人的自由度很多,采用了称为“二进制控制”的控制策略,即每个气缸仅具有伸和缩两个状态,分别设置为0和1。如此,通过180个气

缸伸缩控制的组合逻辑,即可实现对该机器人的滚动控制^[26,31]。

图11所示为可变形的几何机器人^[17]。在平台锁定模式下,该机构的支链等效为一个串联机构,使得此并联机构整体变形为一个四足机器人;在平台分离模式下,该机构可分别实现类履带滚动、类轮滚动侧滚和爬行等移动模式。结合可重构和多操作模式的思想,充分利用机构变形与奇异位置,使可变形几何机器人具有多种变形特征和运动模式,继而满足移动能力的需求。此外,通过支链连杆的运

动,可实现整体的缩放,使其具有良好的折叠功能。

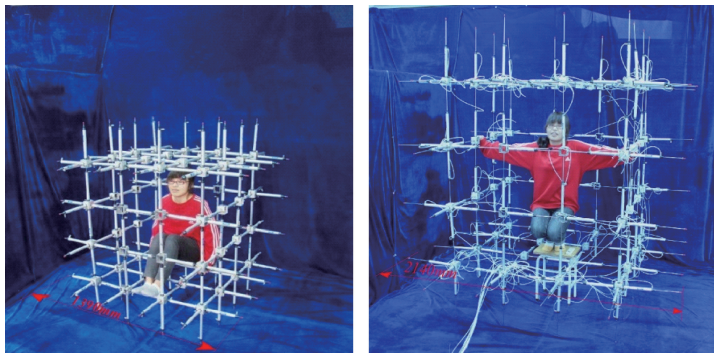
2 几何机器人的力学机制

2.1 滑移四边形机器人

如图12所示为一种可在地面上滑移运动的四边形机器人。将四杆机构的两个杆设计为特殊形状,使该机器人可周期性地向左右两侧倾斜。当机器人倾向一足时,此足与地面的摩擦力增大,以至于这个足的滑动很小甚至不动。如此,机器人的两足与地面摩擦力发生交替的变化,实现整体向前的滑动^[17,32,33]。这个机器人,仅具有一个自由度,也即仅用一个电动机进行驱动。

2.2 被动行走几何机器人

开链足式机器人被动行走机制的揭示是机器人研究领域的一个里程碑。研究揭示如图13所示的闭链多边形机器人也可具有被动行走能力。此外,还发现一个奇妙特性,当该机器人遇到高障碍阻挡时会努力攀爬,如不能越过则自动折回,不能进则退,这一过程不需电子检测与控制。这种机械智能颇具趣味,其力学机制亦十分巧妙^[17]。



(a) 完全缩回状态 (b) 完全展开状态

图10 可缩放滚动连杆机器人

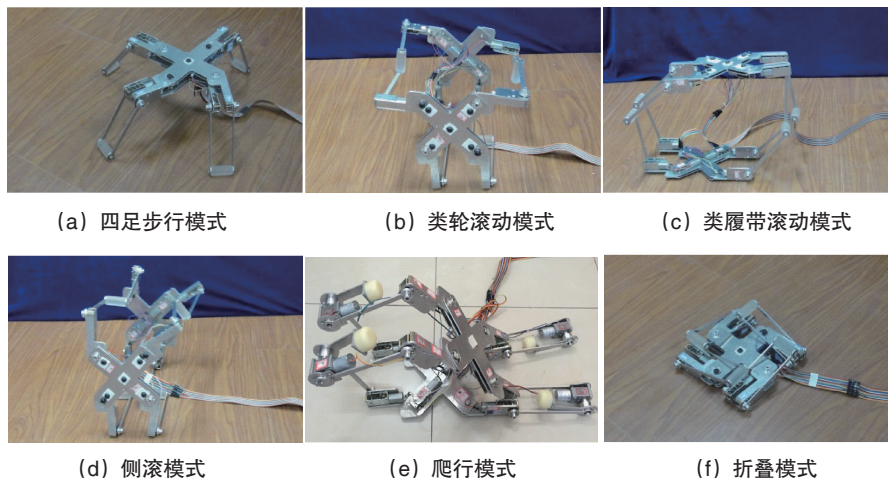
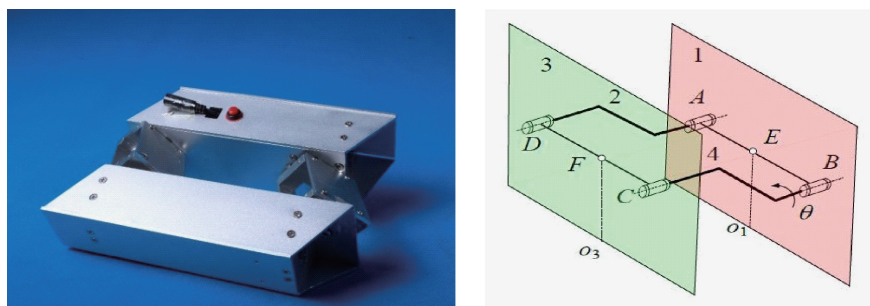
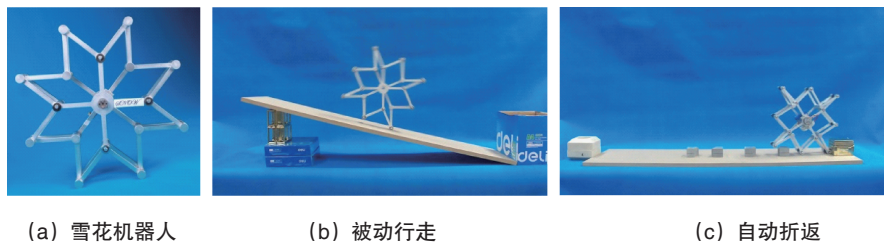


图 11 变拓扑结构地面移动连杆机器人



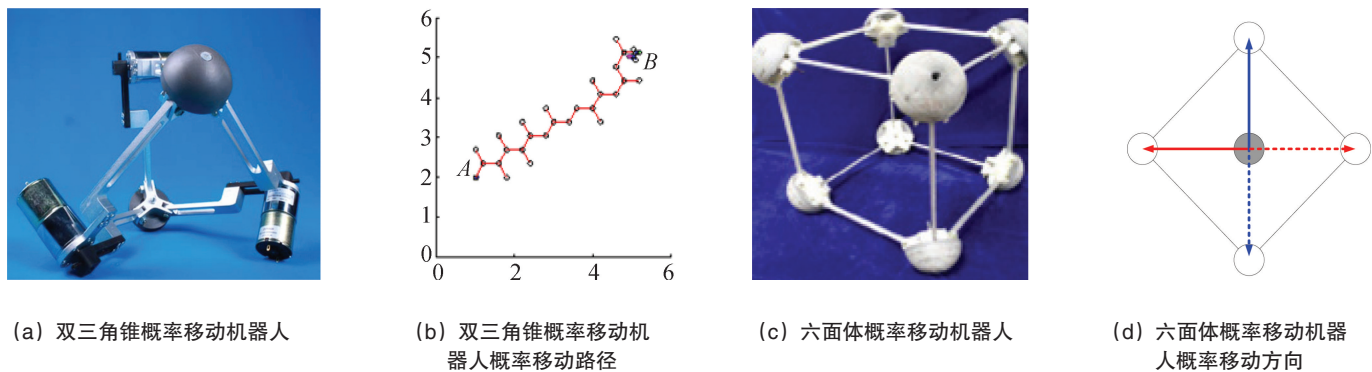
(a) 滑移四边形机器人样机 (b) 滑移四边形机器人机构简图

图 12 滑移四边形机器人



(a) 雪花机器人 (b) 被动行走 (c) 自动折返

图 13 被动行走与自适应机器人



(a) 双三角锥概率移动机器人 (b) 双三角锥概率移动机器人概率移动路径 (c) 六面体概率移动机器人 (d) 六面体概率移动机器人概率移动方向

图 14 概率移动机器人

2.3 概率移动几何机器人

地面移动系统若具有一个自由度即一个动力机方便实现移动,而若还能转向则还需增加一个自由度,即至少需要两个动力机来进行驱动和控制。图 14 所示为双三角锥型机器人,虽也具有一个自由度和单个动力机,但可利用形状设计及不稳定受力状态获得符合伯努利概率分布的倾倒步态,并应用贪婪算法进行控制,最终可使其到达任意的目标位置^[34,35]。数学模型即著名的“醉汉行走”(图论中的 Random walk 问题)。此双三角锥机器人是半醉,而图示的六面体机器人则是微醉,增加了“路径记忆(path memory)”的功能。

3 几何机器人的工程应用

几何机器人的工程应用目标,是希望发挥其强大变形能力与多样运动模式的特长,发展新概念的地面移动系统,用于轮式、履带式以及足式等移动机器人难以适应和通过的极端复杂障碍地形。

如图 15 所示变形轮机器人,可从圆形轮变形为异形轮,兼具轮式系统的高速性与变形系统的越障性^[36]。在平坦路面环境下以圆轮方式快速抵近目标,如图 15(a)所示;在台阶、废墟等复杂路面环境下则以异形轮方式跨越障碍,如图 15(b)、(c)所示。

如图 16 所示为可折叠双三角锥机器人,通过折叠机构的变形,可在展开状态下的多面体和折叠状态下的椭球体两种外部形态之间进行转换^[22,37,38]。在双三角锥形态下,通过外形的变化实



(a) 圆轮 (b) 异形轮 (c) 结构化路面试验

图 15 变形轮机器人

现定向滚动,并能够进行原地稳定停留控制;在椭球体形态下,运用偏心质量块驱动方式进行快速滚动。此类多模式几何机器人可通过模式切换满足多种任务需求。

如图 17 所示的滚动机器人以经典 3RPS 并联机构为基础,利用液压缸伸缩产生的支链两末端距离变化替代常规移动关节作为输入使平台获得大的变形,利用液压系统的强劲动力,可用于复杂山地或海底地形的快速移动探测或运载^[26]。

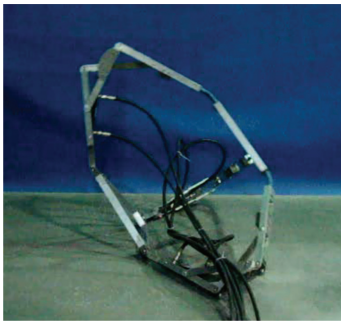


图 17 液压动力滚动 RPS 机器人

4 几何机器人的艺术设计

西方现代艺术之父、造型之父、绘画之父“塞尚”提出:用圆柱体、球体、圆锥体来表现自然。

美术是静态的造型,几何机器人是移动、变形和动态的几何。我们构造了棱柱、棱锥以及多种多面体机器人。

如图 18 所示为一种滚动三棱柱机器人,以两个等边三角形平面作为上下平台,以三条支链作为棱边,每条支链与平台之间安装两个虎克铰,在两个电机驱动下可实现变形与翻滚运动^[99]。

如图 19 所示为一种滚动削楞截角多面体机器人



(a) 多面体形态 (b) 椭球体形态

图 16 可折叠双三角锥滚动机器人

多面体机器人,增加组成多面体机器人的面数,可接近成为球体。

如图 20 所示为一种滚动四棱锥机器人,为球面四杆机构,可在地面上以圆为轨迹循环滚动^[40]。

如图 21 所示机器人称为“行走的

雪花”。将平行四边形机构分层圆周阵列布置,生成外形为六角、或八角、或十角的雪花造型^[17]。在电机周期性正反转驱动之下,该机器人的四边形机构单元依次缩放变形,各顶点顺序着地滚动行走。

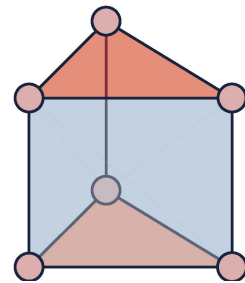
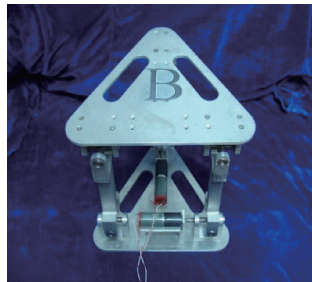


图 18 滚动三棱柱机器人

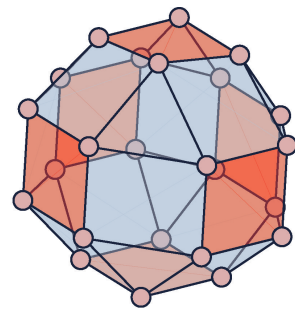
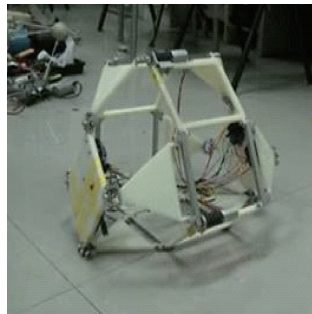


图 19 滚动削楞截角多面体机器人

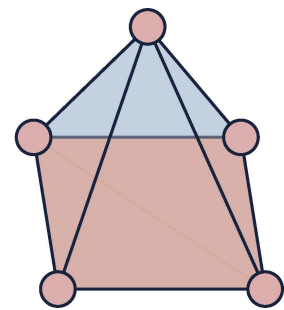
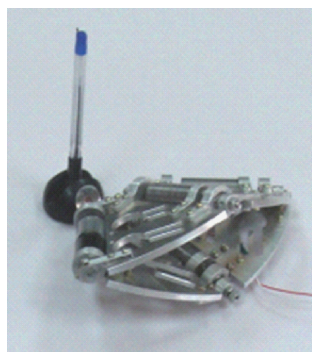


图 20 滚动四棱锥机器人

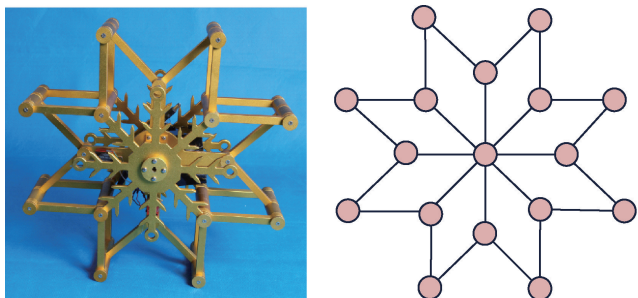


图21 雪花机器人

5 几何机器人的哲学思考

几何学图形为人的思维所主观创造,是精神虚体,并非物质实体。几何机器人将几何图形赋予形状和质量而成为客观的物质实体,然后赋予能源动力而使其获得行走能力。进而以计算机控制赋予几何机器人以自主智能。几何机器人有其形但非人形、有其智能但非人的思维,若构成与人类平行的几何机器人世界,它将遵循怎样的哲学?

几何机器人的设计理念,并非源于仿生。轮子是人类交通工具最伟大的发明,轮子的设计也不是源于仿生。既然不是仿生而来,当然也不希望几何机器人如被人类设计用于获取各种实际利益的机器或工具一般,被视作为是人的手足等器官功能的延伸,仅被作为人的助手去协助或替代人的工作。几何机器人具有自成体系的外形、自主的智能和行为,似应可被视作为与人平行、独立、自主的物理生物。

欧几里得不希望他的几何学仅被用于获取实际的利益,他的希望是用几何学来描绘空间的结构,从而了解上帝如何构造宇宙的秩序^[41]。牛顿基于几何学、并引入力学来试图解构自然哲学。他发现并以为,“除非由上帝来设计,这个由太阳、行星和彗星组成的极精致的空间结构不可能发生”。牛顿所理解的上帝,是“感觉的、理解的和作用的力”,“它完全与自身相似”,“绝不是以人的方式、绝不是以物的方式”^[42]。

研制了与道教有缘的太极几何机器人、与佛教有缘的变形几何机器人、与基督教有缘的涡旋几何机器人等(图

22),也希望几何机器人在自然哲学与人造物哲学之间游弋,获得设计和发展的灵感。

6 以几何机器人为载体的MSEAP研究与教育理念

以几何机器人的科学研究为基础,提出以几何机器人为载体的MSEAP研究与教育理念,即将数学(Mathematics)、科学(Science)、工程(Engineering)、艺术(Art)和哲学(Philosophy)融合于几何机器人的学习、研究以及应用,旨在修养形成数学家的逻辑思维、科学家的

创新精神、工程师的实践能力、艺术家的美学视野以及哲学家的普世情怀。

选欧几里得代表数学,他的几何学为几何机器人提供架构;选牛顿代表科学,他的力学为几何机器人提供动力;选鲁班代表工程,他的工匠技艺为几何机器人提供制作手段;选塞尚代表艺术,他以“用圆柱、圆球、圆锥来表现自然”的艺术思想为几何机器人提供造型构思;选老子、释迦牟尼和耶稣代表哲学,道教大象无形的虚实交融、佛教变化无常的神通技艺、基督教自有永有的运动循环为几何机器人提供设计思想。

简而言之,以几何机器人为载体的MSEAP行动框架,是以数学为心淡泊宁静、以科学为足扎实根基、以工程为手开拓实践、以艺术为眼追寻美景、以哲学为脑统筹方向。

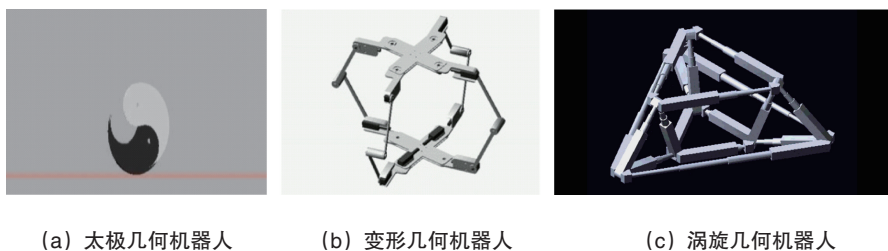


图22 源于哲学思想的几何机器人

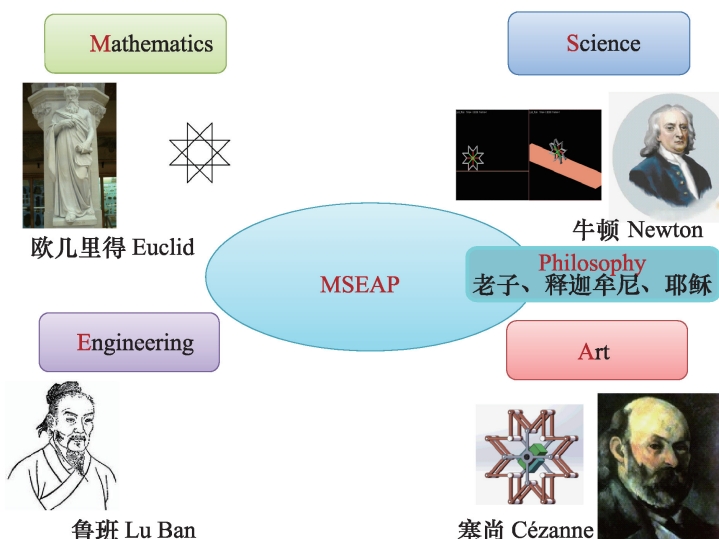


图23 以几何机器人为载体的MSEAP研究与教育理念



参考文献(References)

- [1] Raibert M H. Legged robots[J]. Communications of the ACM, 1986, 29(6): 499-514.
- [2] Hardarson F. Locomotion for difficult terrain[J/OL]. [2015-03-31]. http://www.damek.kth.se/~cas/publications/pubdata/Hardarson_1997_LDT.pdf.
- [3] Wu J X, Ruan Q, Yao Y A, et al. A novel skid-steering walking vehicle with dual single-driven quadruped mechanism[C]. Mechanisms, Transmissions and Applications. Springer International Publishing, 2015: 231-238.
- [4] 孔德隆, 刘伟, 徐文胜, 等. 一种滚动三角形机器人: 中国, 101462561B[P]. 2010-10-27.
- [5] 刘长焕. 单元及组合型网格式移动连杆机构的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [6] Liu C H, Tian Y B, Wang X M, et al. A class of biped mechanisms with three links and two joints[M]//Intelligent Robotics and Applications. Berlin Heidelberg: Springer, 2010: 203-214.
- [7] Liu C H, Yao Y A, Tian Y B. Biped robot with triangle configuration[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 25(1): 20-28.
- [8] Liu C H, Yao Y A. A rolling parallelogram driven by a crank-rocker mechanism[C]//ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers, 2011: 607-613.
- [9] Liu C H, Yao Y A, Li R M, et al. Rolling 4R linkages[J]. Mechanism and Machine Theory, 2012, 48: 1-14.
- [10] 姚燕安, 田耀斌, 黄铁球. 一种单动力平行四边形两足移动机构: 中国, 101927796A[P]. 2010-12-29.
- [11] Tian Y B, Guo Y Z, Yao Y A. An antiparallelogram mobile mechanism[C]//Machine Design and Research, CCMMS 2010. Machine design and research, Shanghai, China, July 21-25, 2010.
- [12] 翟美丽. 单闭链6R连杆滚动机构的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [13] 姚燕安, 翟美丽, 刘超. 基于一种新型空间6R机构的滚动机器人[C]//中国机构与机器科学国际会议2013, 机械设计与研究, 中国, 太原, 07.01, 2013.
- [14] Liu C, Wang H, Zhai M L, et al. A rolling sarrus mechanism[M]//Intelligent Robotics and Applications. Springer Berlin Heidelberg, 2013: 33-40.
- [15] 秦俊杰, 田耀斌, 姚燕安. 一种基于URU链的四面体移动机构[C]. 中国机构与机器科学国际会议2012, 机械设计与研究, 中国, 黄山, 07.13-17, 2012.
- [16] 郝艳玲, 苗志怀, 谢基龙, 等. 截角六面体可变形滚动机构[J]. 机械工程学报, 2013, 49(11): 22-28.
- [17] 田耀斌. 多模式移动连杆机构理论研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [18] Tian Y B, Yao Y A. Constructing rolling mechanisms based on tetrahedron units[M]//Advances in Reconfigurable Mechanisms and Robots I. Springer London, 2012: 221-232.
- [19] Tian Y B, Yao Y A. Dynamic rolling analysis of triangular-bipyramid robot[J]. Robotica, 2015, 33(4): 884-897.
- [20] Tian Y B, Wei X Z, Joneja A, et al. Design and rolling analysis of a novel deformable polyhedron robot[J/OL]. [2015-08-31]. <http://cdn.intechopen.com/pdfs/47766.pdf>.
- [21] Tian Y B, Yao Y A, Ding W, et al. Design and locomotion analysis of a novel deformable mobile robot with worm-like, self-crossing and rolling motion [J]. Robotica, 2015, 33(1): 1-18.
- [22] 李晔卓. 可折叠地面移动连杆机构的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [23] Liu C H, Li R M, Yao Y A. An omnidirectional rolling 8U parallel mechanism[J]. Journal of Mechanisms and Robotics, 2012, 4(3): 034501.
- [24] 郝艳玲, 刘长焕, 谢基龙, 等. 一种空间正交四边形滚动机器人[J]. 上海交通大学学报, 2012(6): 21.
- [25] 荀致远, 关永瀚, 席礼贺, 等. 空间三正交平行四边形滚动机构[J]. 机械工程学报, 2015, 51(17): 15-24.
- [26] 丁万. 连杆式变形运载平台的设计与控制[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [27] 丁万, 姚燕安. 一种气动二进位控制的多面体移动机构[C]//中国机构与机器科学应用国际会议2011, 机械设计与研究, 中国, 西安, 10.15-16, 2011. Ding Wan, Yao Yan'an. A pneumatic cylinder driving polyhedron mobile mechanism[C]//Machine Design and Research, CCAMMS 2011. Machine design and research, Xi'an, China, October 15-16, 2011.
- [28] Ding W, Kim S C, Yao Y A. A pneumatic cylinder driving polyhedron mobile mechanism[J]. Frontiers of Mechanical Engineering, 2012, 7(1): 55-65.
- [29] Ding W, Wu J X, Yao Y A. Three-dimensional construction and omni-directional rolling analysis of a novel frame-like lattice modular robot[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2015, 28(4): 691-701.
- [30] Ding W, Yao Y A. Construction and locomotion analysis of modular robots with pneumatic-actuated and binary-controlled expandable cubes[J]. Advanced Robotics, 2014, 28(22): 1487-1505.
- [31] Ding W, Yao Y A. A novel deployable hexahedron mobile mechanism constructed by only prismatic joints[J]. Journal of Mechanisms and Robotics, 2013, 5(4): 041016.
- [32] 田耀斌, 姚燕安. 一种单动力滑行四杆机构[C]//中国机构与机器科学应用国际会议2009, 机械设计与研究, 中国, 武汉, 08.18-22, 2009.
- [33] Tian Y B, Wei X Z, Joneja A, et al. Sliding-crawling parallelogram mechanism[J]. Mechanism and Machine Theory, 2014, 78: 201-228.
- [34] Guo Y Z, Tian Y B, Yao Y A, et al. Control method and motion path simulation of a mobile robot[C]//Computer Application and System Modeling (IC-CASM), 2010 International Conference on. IEEE, 2010, 10: V10-638-V10-642.
- [35] 田耀斌, 郭一竹, 刘长焕, 等. 单自由度概率翻转移动连杆机构[J]. 机械工程学报, 2011, 47(3): 14-20.
- [36] 杨春. 基于变形车轮的移动机构研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [37] 李晔卓, 田耀斌, 姚燕安. 可折叠双三角锥滚动机构[J]. 机械工程学报, 2014, 50(11): 68-79.

- [38] 李晔卓, 田耀斌, 姚燕安. 双模式双三角锥滚动机构设计与运动分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2014(5): 13.
- [39] Miao Z H, Yao Y A. A rolling 6U parallel mechanism[J]. Frontiers of Mechanical Engineering, 2011, 6(1): 96-98.
- [40] Tian Y B, Yao Y A, Wang J Y. A rolling eight-bar linkage mechanism[J]. Journal of Mechanisms and Robotics, 2015, 7(4): 041002-041002-11.
- [41] Heath T L. The thirteen books of Euclid's Elements[M]//Courier Corporation, Cambridge, England, 1956.
- [42] 牛顿. 赵振江译. 自然哲学的数学原理[M]. 北京: 商务印书馆, 2006.

Research and development of geometry robot

YAO Yan'an

School of Mechanical, Electronic and Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract The basic concept of the geometry robot is introduced in this paper, and the mathematic model, mechanical principle, engineering application, art design and philosophy consideration are discussed. Based on the development of geometry robot, the research and education ideology of MSEAP is proposed. MSEAP integrates study, research and application of geometry robot with mathematics, science, engineering, arts and philosophy, and aims at cultivating the logical thinking of mathematicians, the innovative spirit of scientists, the practical ability of engineerings, the aesthetic perspective of artists and the universal feelings of philosophers.

Keywords geometry robot; mathematics; science; engineering; art; philosophy

作者简介: 姚燕安, 教授, 研究方向为机构与机器人学, 电子信箱: yayao@bjtu.edu.cn

(责任编辑 刘志远)