

# 一种新颖的混合型自重构模块化机器人结构描述

费燕琼<sup>1,2</sup>, 杨威<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学 机器人研究所, 上海 200240;

2. 中国科学院沈阳自动化研究所 机器人学国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110016)

**摘要:**研制了一种新型的混合型自重构模块化机器人。该机器人由多个相同的呈三棱柱状的主-从式基本模块组成,每个主模块包括 3 个主驱动电机及齿轮减速装置,每个从模块包括 2 个从驱动电机及齿轮-齿条传动装置;相邻两主-从式基本模块中,从模块的对接轴插入主模块的对接孔完成两基本模块的对接动作,从而实现该机器人不同构型的转换。仿真了该机器人从直线型变形为正六边形的过程。结果表明,该机器人基本模块结构紧凑,能通过对接和分离实现系统的变形。

**关键词:**自重构机器人;模块;对接;混合型;变形

中图分类号:TP242

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2012)04-0051-05

## Structure Description of a Novel Hybrid Self-reconfigurable Modular Robots

FEI Yanqiong<sup>1,2</sup>, YANG Wei<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Robotics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. State Key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation,  
Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016, China)

**Abstract:** A novel hybrid self-reconfigurable modular robot is designed which is composed of several basic modules. Each basic module consists of a master module and a slave module which are the shape of the triangular prism. In the master module, there are three driving motors and gear reducers. In the slave module, there are two driven motors and two pairs of rack-pinions. With the special structure and different speeds of two pairs of rack-pinions, two pegs of the slave module connect with two docking holes of the master module. Finally, a simulation of three basic modules is shown to finish the morphing process effectively. It can finish the morphing task from the line shape to the hexagon shape. The result shows that the basic module of the proposed robot has a compact structure, it can realize the morphing process effectively by docking and detaching.

**Key words:** self-reconfigurable robot; module; docking; hybrid; morphing

自重构模块化机器人由许多相似的自治机械电子单元(即模块)组成。每个模块具有计算及通信能力,配备多种传感器、驱动器和机械传动装置。该类机器人无需外界的帮助,通过模块之间的自动连接或分离,改变系统的拓扑结构来完成不同的任务,具有多功能、自重构和低成本的优点,可应用于航空航天、海洋开发和废墟救援等领域。

自重构模块化机器人可分为链型、网格型和混合型三种类型。链型自重构机器人包括由模块组成的机械臂等结构,如 PolyBot<sup>[1]</sup>, Conro<sup>[2]</sup>等,构型比较简单,变形过程的运动规划也比网格型自重构机器人容易,但是较难实现自重构;网格型自重构机器人在二维或三维空间内可以构成各种构型的系统,该类系统基本模

收稿日期:2012-03-06

基金项目:国家自然科学基金项目(51075272);机器人学国家重点实验室开放基金项目(RL0200906)

作者简介:费燕琼(1972—),女,江苏江阴人,副教授,博士,主要从事自重构模块化机器人、特种机器人、自动化装配等研究。

E-mail:fyq@sytu.edu.cn

块数量较多,组成的目标构型千变万化,拓扑结构较复杂,其优点体现在便于控制结构的变形运动,在技术上比较容易实现自重构,如 Fracta 3D<sup>[3]</sup>, ATRON<sup>[4]</sup> 以及 M-Cubes<sup>[5]</sup> 等;混合型自重构机器人既能构成链型又能构成网格型的自重构机器人,具有链型自重构机器人和网格型自重构机器人的优点,如 M-TRAN<sup>[6]</sup>。

本文描述了一种新颖的混合型自重构模块化机器人结构,其基本模块由呈三棱柱形的主模块和从模块组成,主、从模块间由输出轴连接,可实现主、从模块的相对转动,相邻两基本模块通过从模块的对接轴插入主模块的对接孔完成对接动作,从而实现机器人不同构型的转换。

## 1 混合型自重构机器人的结构

混合型自重构机器人由多个相同的基本模块组成,通过相邻模块之间的连接、分离及相互旋转,实现不同的构型,以完成不同的任务。由 3 个基本模块组成的混合型自重构机器人如图 1 所示。

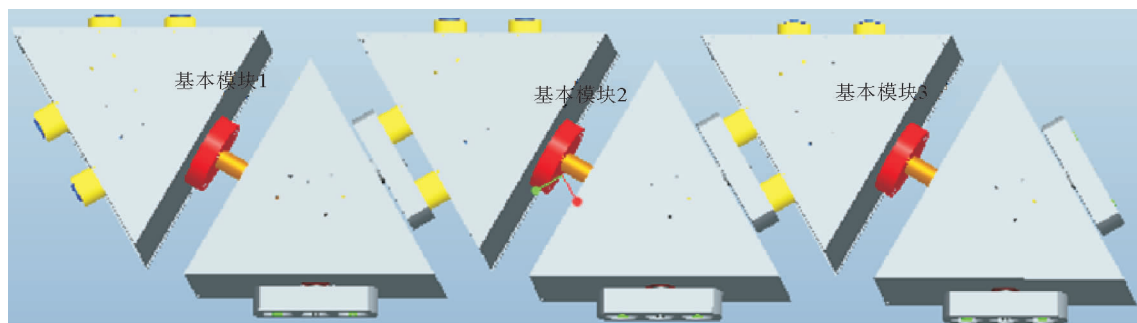


图 1 混合型自重构机器人结构图

Fig. 1 The hybrid self-reconfigurable modular robots

### 1.1 基本模块的外形结构

混合型自重构模块化机器人的基本模块由呈三棱柱形的主模块和从模块组成,主、从模块间由输出轴连接,可实现主、从模块的相对转动。每个从模块具有二个可伸缩的轴及三个用于卡紧的滚珠。主模块具有二个相匹配的孔及传感器,主、从模块可相互旋转 360°,根据齿轮、齿条的差速运动,将相邻两基本模块的轴插入相应的孔中,完成对接任务。结构外形如图 2 所示。

### 1.2 基本模块的内部结构

主模块的内部结构如图 3 所示,从模块的内部结构如图 4 所示。主模块主要包括三个主驱动电机(1)、齿轮减速器(2)、齿轮减速器(3 和 4)、三棱柱框架(5)、两个主连接面(6)、主输出轴(7);从模块主要包括两个电机(1)、小齿轮(2)、齿条(3)、大齿轮(4)、从连接面的内、外连接套筒(6 和 5)、三棱柱框架(7)。

主模块的内部传动路线为:主驱动电机转动,通过齿轮减速器 2 把转动传递给主输出轴 7,使得与主输出轴固连的从模块整体绕主模块旋转;分别与齿轮减速器 3 和 4 相连的主驱动电机转动,带动主连接面 6 转动,改变主连接面的空间姿态。

从模块的内部传动路线为:电机 1 工作,带动与其相连的小齿轮 2 转动,继而带动与其啮合的齿条 3 和大齿轮 4 同时转动,根据特殊设计的大、小齿轮的啮合比,驱动从连接面上的内、外套筒做不同速度的直线运动,从而把滚珠卡入凹槽中,完成卡紧动作。

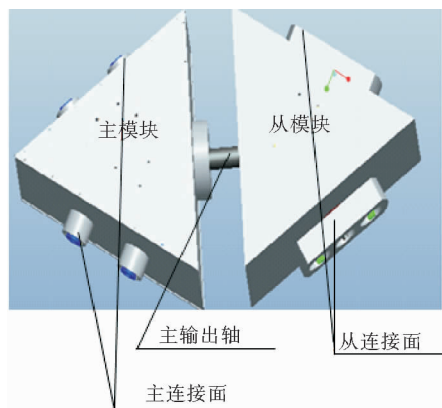


图 2 基本模块的外形结构图

Fig. 2 The external structure of basic module

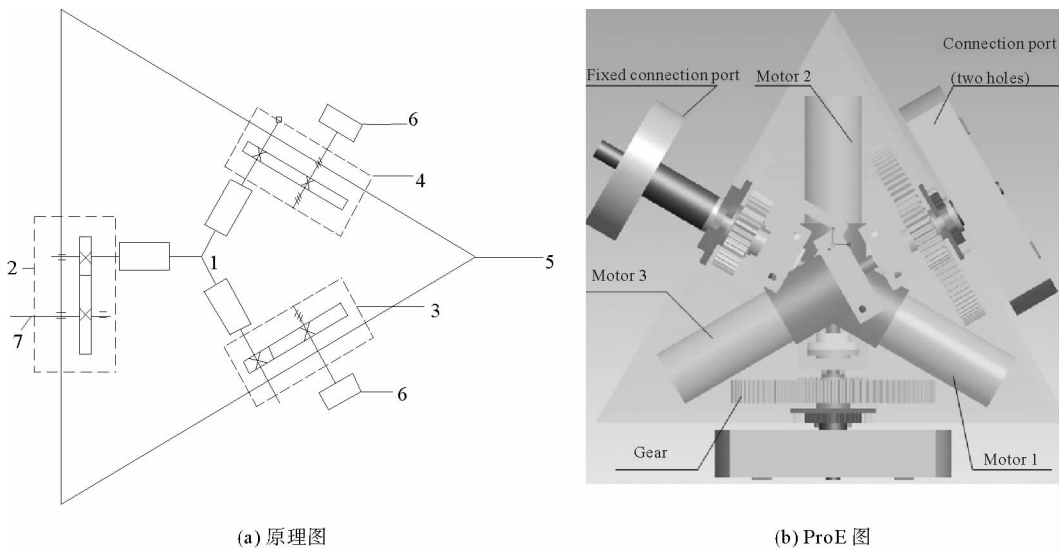


图 3 主模块内部结构示意图  
Fig. 3 The internal structure of master module

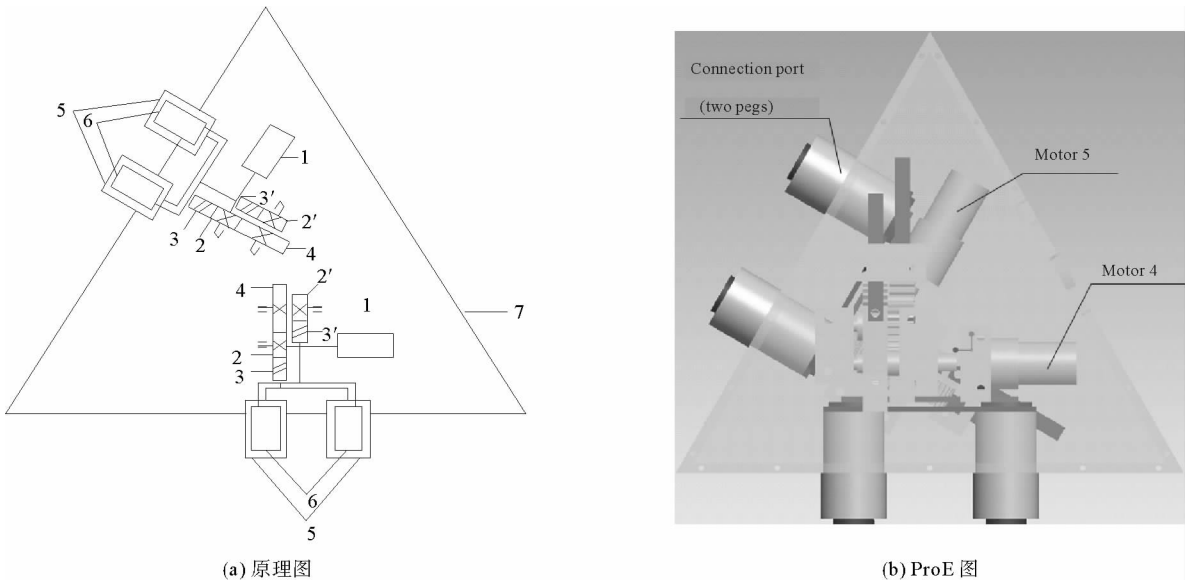


图 4 从模块内部结构示意图  
Fig. 4 The internal structure of slave module

## 2 对接/分离过程

相邻两基本模块之间的对接和分离能改变该混合型自重构机器人的形状和位姿,以实现机器人的不同结构和功能。

主模块上的主连接面主要由连接盘和连接杆组成,从模块上的从连接面主要由外套筒、内套筒和滚珠组成。滚珠在内套筒的阶梯孔中绕轴向均布,外套筒和内套筒分别与齿条相连,根据特殊设计的机械结构,通过设定的大小齿轮减速比及齿轮齿条的啮合传动,可分别实现与齿条相连的外套筒和内套筒做不同速度的往返直线运动,完成一个驱动源驱动两个套筒的运动,从而把滚珠卡入凹槽中,完成卡紧动作。

电动机正转,带动与电动机相连的小齿轮转动,小齿轮一方面带动与其啮合的齿条传动,齿条带动内套筒在作用力  $F_1$  的作用下以速度  $V_1$  向连接杆的方向运动;与此同时,根据设定的大小齿轮减速比及齿轮齿条的啮合传动,齿条带动外套筒在  $F_2$  的作用下以速度  $V_2$  向连接杆的方向运动。内套筒中滚珠的半径  $r_2$  等于连接杆中凹槽的半径  $r_2$ ,内套筒的外径  $r_1$  和连接杆的外径  $r_1$  相等。内套筒中滚珠的球心到连接杆凹槽球心

的距离为  $l_1$ ，外套筒中的卡紧点到连接杆凹槽球心的距离为  $l_2$ ，如图 5(a) 所示。当内套筒和外套筒在外力作用下运动到图 5(b) 所示位置时，内套筒中的滚珠即将进入连接杆的凹槽中，此时，内套筒和外套筒在外力的作用下继续前进，当滚珠完全进入凹槽之中时，外套筒的卡紧点将会把滚珠卡紧，两个模块完成对接，如图 5(c) 所示。当电动机反转时，完成相邻两基本模块的分离动作。

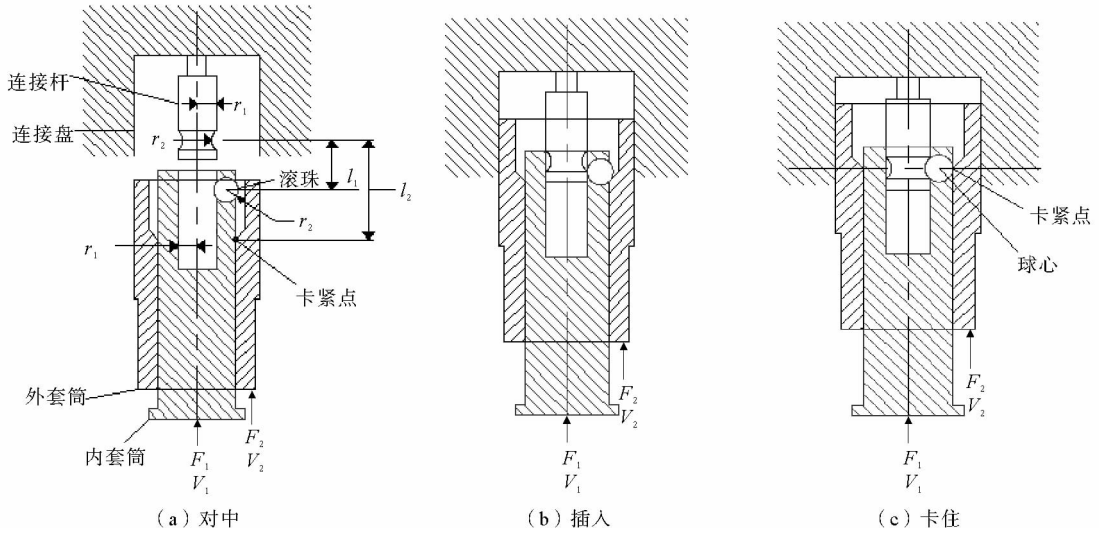


图 5 对接过程图

Fig. 5 The docking process

### 3 变形仿真

图 6(a) 所示为由三对主-从式基本模块组成的自重构机器人系统，其中主模块 4 为基模块。根据特殊的三棱柱形主-从式模块的机械结构，该自重构机器人既可变形实现网格型构型，也可变形实现链型构型。通

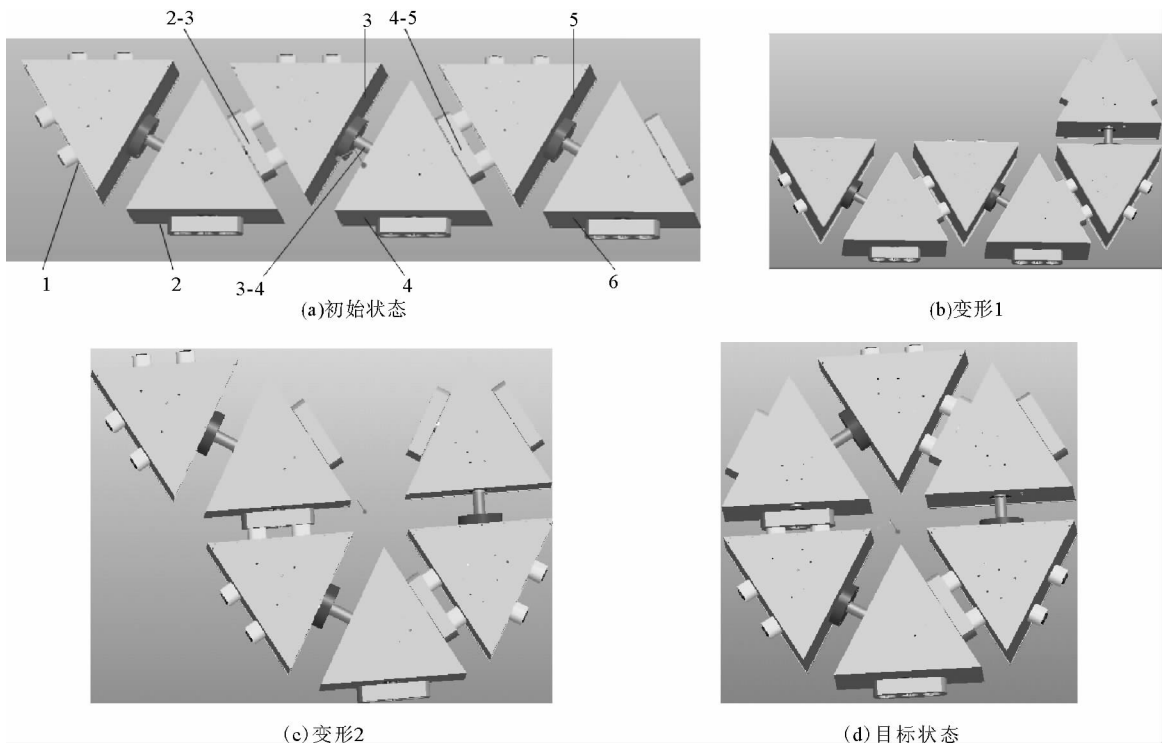


图 6 变形过程图

Fig. 6 The morphing process

过各基本模块在空间的旋转和可伸缩轴插入对接孔的过程,实现机器人不同构型的变化。

首先,从模块 5 和主模块 6 绕连接基模块 4 和从模块 5 的双轴 4-5 旋转  $180^\circ$ ,如图 6(b)所示;然后,从模块 3 绕基模块 4 与从模块 3 之间的单轴 3-4 旋转  $180^\circ$ ,与此同时,将带着主模块 2 和从模块 1 通过主模块 2 和从模块 3 之间的双轴 2-3 一起绕基模块 4 与从模块 3 之间的单轴 3-4 旋转  $180^\circ$ ,如图 6(c)所示;最后,主模块 1 和从模块 2 绕主模块 2 和从模块 3 之间的双轴 2-3 旋转  $180^\circ$ ,从模块 1 和主模块 6 进行对接,整个变形过程完成。此时,该自重构模块机器人从初始的直线型变为正六边型,如图 6(d)所示。

#### 4 结束语

描述了一种由呈三棱柱形的主-从式基本模块组成的混合型自重构模块化机器人。其主要特点是通过基本模块的相互旋转、对接及分离,实现链型或网格型自重构。主模块采用三个直流电动机驱动,齿轮减速驱动连接面旋转;从模块采用两个直流电动机驱动,通过设定的大小齿轮减速比及齿轮齿条的啮合传动,可实现分别与两个齿条相连的外套筒和内套筒做不同速度的往返直线运动,以一个驱动源驱动两个套筒以不同速度运动,使相邻两基本模块的对接轴插入对应孔,把滚珠卡入凹槽中,完成两模块对接、卡紧的任务。

#### 参考文献:

- [1]YIM M,ZHANG Y,ROUFAS K,et al. Connecting and disconnecting for chain self-reconfiguration with PolyBot[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics,2002,7(4):442-451.
- [2]CASTANO A,BEHAR A,WILL P. The conro modules for reconfigurable robots[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics,2002,7(4):403-409.
- [3]MURATA S,KURAKAWA H,YOSHIDA E,et al. A 3-D self-reconfigurable structure[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Leuven,Belgium,May 16-20,1998:432-439.
- [4]CHRISTENSEN D J,STOY K. Selecting a meta-module to shape-change the ATRON self-reconfigurable robot[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Orlando,Florida,Jun. 25-28,2006:2532-2538.
- [5]FEI Y Q,ZHAO X F. Design and dock analysis for the interactive module of a lattice-based self-reconfigurable robot[J]. Robotics and Autonomous Systems,2007,55(2):87-95.
- [6]KUROKAWA H,TOMITA K,KAMIMURA A,et al. Distributed self-reconfiguration of M-TRAN III modular robotic system[J]. The International Journal of Robotics Research,2008,27(3-4):373-386.