

一种仿人机器人头部的机械结构与动态仿真

严绪东,关 浩*

(大连大学 机械工程学院,辽宁 大连 116622)

摘要:仿人头部的机械结构设计一直以来都是仿人机器人设计的重点和难点。由于头部空间狭小,运动机构较多,需要在有限的空间里完成相对复杂的结构设计且各运动之间不允许干涉。针对这些问题,主要介绍了一种基于 Pro/E 的仿人机器人头部结构设计,按照真人尺寸完成了机器人头部的虚拟装配和静态情况下的干涉检验,对机构的运动形式进行了动态仿真分析,最后得出了具有一定工程应用价值的结论。研究表明,该研究为下一步制作实物机器人提供了数据,并为今后的驱动选型奠定了基础。

关键词:结构设计;Pro/E;干涉检验;动态仿真

中图分类号: TP24;TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)09-1040-05

Mechanical design and dynamic simulation of humanoid robot head

YAN Xu-dong ,GUAN Hao

(Mechanical Engineering Institute, Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: Mechanical design of a humanoid robot head has always been the focus and difficulty. As the robot has small head space and many mechanical structures, it is needed to complete the complex structural design in a limited space, and also all the movements are not allowed to interfere with each other. Aiming at these problems, structural design of a humanoid robot head based on Pro/E was introduced. And the virtual assembly in accordance with the life-size and the static interference check were also accomplished. The kinematic form dynamically was simulated and analyzed, which may be valuable for engineering application. The results show that the research provides the data for the next robot production and lays the foundation for the driver selection.

Key words: structural design; Pro/E; interference check; dynamic simulation

0 引 言

仿人机器人具有人类的外观,可以适应人类的生活和工作环境。随着现代科学技术的进步,仿人机器人的能力越来越强。因此,仿人机器人成了当前机器人研究领域中的热点。东京理工大学于 2002 年开发的 SAYA 机器人^[1-2],它能够基本实现 6 种类人表情,不过笑起来还不够逼真。日本早稻田大学开发的 WE-4R 系列机器人^[3-4],可以识别颜色和感受不同的触觉行为,是目前感觉器官最为齐全的机器人。哈尔滨工业大学开发了“H&F Robot”仿人头像机器人,成功实现了自然、开心、生气、厌恶、悲伤、惊讶 6 种基本面部表情^[5-6]。2007 年,北京科技大学设计了一个情

感机器人头^[7],它可以和人进行对话并产生表情。国内研究的仿人头部机器人基本可以实现 6 种基本表情,但是还不能和真人相比,不够自然和逼真。其原因一方面是由于机器人头部空间很小,运动机构较多,造成了制造此类机器人难度很大;另一方面是没有合适的、与真人皮肤类似的材料;在已经组装好的机器人头部中还可能存在机构相互干涉的现象,一旦产生相互干涉,许多机构必须得重新设计,费时费力。

本研究提供了一种基于 Pro/E 的结构设计及虚拟装配,尽可能地减少重复设计的工作量,同时还运用 Pro/E 对各运动机构进行动态分析,所得的数据将作为驱动装置选型的参考依据。

收稿日期:2011-04-18

作者简介:严绪东(1984-),男,江苏盐城人,主要从事仿人机器人与机电一体化方面的研究. E-mail: yxd618624@163.com

通信联系人:关 浩,男,教授,硕士生导师. E-mail: ghddx@sina.com

1 结构设计

1.1 设计思路及技术要求

机器人要产生仿人的表情,首先要具有仿人的头部,总体有两种设计思路:一是采用仿人头骨、器官、肌肉、皮肤来构成机器人的头部,用人工肌肉来驱动表情,可以达到仿人机器人与人类表情的高度仿真,但就目前的技术条件,实现起来还有很大的困难,所以一般都不采用这种方法;其二是从机构运动学的角度分析,人体的面部表情主要依赖于眉毛、眼睛、嘴、下颌、颈部的运动,如果这些运动得以准确的实现,那么机器人的类人表情也就随之产生了。就目前现有的水平来说,这种方案是可行的,而前一种方案应该是未来要研究的目标。

笔者所研究的仿人头部机器人是作为迎宾机器人使用,在不影响机器人类人表情表达的情况下,应尽可能使机器人结构简单、易于控制、稳定性高。根据分析,笔者设计了12个自由度(如表1所示),包括眉毛的上下运动、眼睑的旋转、眼球的上下和左右转动、嘴巴的上下闭合和颈部的运动^[8]。为了便于设计,将整个机构的设计分成眉毛、眼睑、眼睛、下颌和颈部5个运动模块,每个模块可以单独的运动,各个模块组合起来就形成一个完整的机器人头部。机器人头部完成类人表情时,各个机构运动的技术要求如表2所示^[9]。

表1 整个头部的自由度

运动单元	单元数目	自由度	总自由度
眉毛	2	1	2
眼睛	2	2	4
眼睑	2	1	2
下颌	1	1	1
颈部	1	3	3

表2 各机构完成类人表情所需的数据

运动机构	运动范围/(°)	运动时间/s
眉毛	纵向 45	0.2
眼睛	横向 120	0.2
	纵向 60	0.2
眼睑	纵向 60	0.2
	纵向 60	0.3
下颌	纵向 60	0.2
	横向 60	0.2
颈部	纵向 45	0.2
	转动 120	0.2

1.2 头部关键尺寸确定

本研究参考 GB/t2498-1998《成年人头面部尺寸》中的男子头面部项目尺寸^[10],依据这个尺寸对机器人

的头部在 Pro/E 的虚拟环境中进行了设计,当然在制作过程中也没有完全拘泥于这个尺寸,还从美学角度出发进行了适当的调整。其中关键尺寸如下:瞳距 64 mm,眼部到下颔的距离为 95 mm,颈部长为 88 mm,颈部最宽的地方为 107 mm。机器人头部尺寸如图 1 所示。

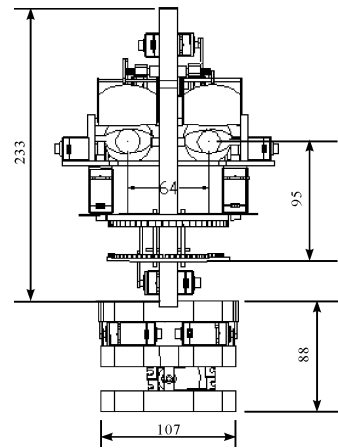


图1 机器人头部尺寸图

1.3 各模块机构具体设计

1.3.1 眉毛运动机构

眉毛的运动主要是靠眉毛中部肌肉的拉动,因此可将眉毛的运动看成是眉中那一个点的运动,这将大大简化设计和安装的难度,同时还不太影响机器人情感的表达。眉毛的设计是运用滑块和轴的组合,滑块与轴固定,轴上安装2只轴承,使轴在电机驱动滑块的作用下能够自由旋转。在滑块上安装磁性材料来驱动中间部分是磁性材料的眉毛。受磁力的作用,眉毛就可以吸附在脸上并可以随着后面的滑块做纵向的运动,即可以做皱眉的表情。

实现眉毛运动的结构简图如图2所示。

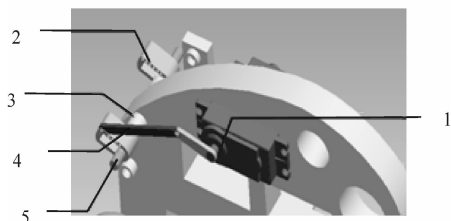


图2 眉毛的运动机构

1—电机;2—眉毛;3—轴承;4—连杆;5—轴

1.3.2 眼睛的运动机构

人类的眼球可以上下转动、左右转动,还可以在眼眶里旋转。一般情况下人的2只眼睛运动方向是相同

的。因此,基于上述考虑,笔者设计了一种能使眼球左右和上下转动的机构。此机构是用 2 个电机分别驱动轴线位于经过眼球中心平面互相垂直的 2 根轴,在轴的中间部分套有一层橡胶,与眼球相接触,当电机运动,带动轴旋转时,由于摩擦力的作用,使眼球跟着转动。由于眼睑部分只具有旋转的自由度,因此设计了一个像眼睑一样的壳体安装在眼球的上部,随着电机的转动,可实现像人一样的眨眼运动。

整个眼睛的运动机构如图 3 所示。

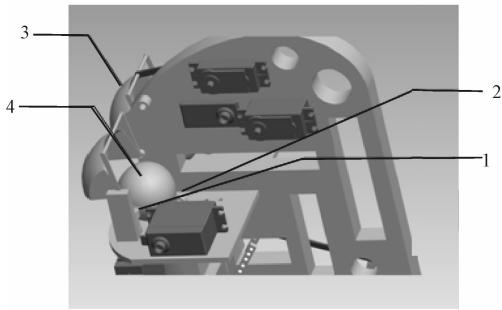


图 3 眼睛的运动机构

1—电机;2—电机;3—眼睑;4—眼球

1.3.3 下颚的运动机构设计

因为嘴部的下部空间很小,需要随着下颚运动而运动。为了简化机构,只需要下颚机构能够实现上下运动。整个机构的设计包含 1 个自由度,主要是让机器人模拟人类张嘴和闭嘴表情的。下颚包含有鄂部和牙齿,相对来说重量比较大,因此用一台扭矩较大的电机驱动来实现下颚的张合运动。

整个下颚的运动机构简图如图 4 所示。

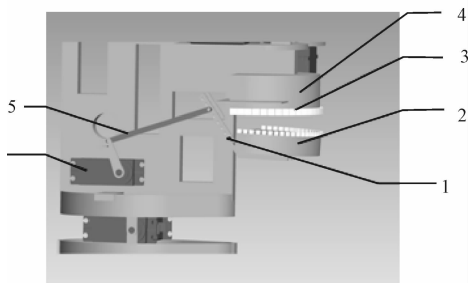


图 4 下颚机构

1—销轴;2—下颚;3—牙齿;4—上颚;5—连杆;6—电机

1.3.4 颈部的运动机构

在对机器人颈部的设计中,本研究采用跟人类类似的颈部结构,同时让它具有 3 个自由度。上脖颈控制点头,中脖颈控制左右摆头,下脖颈控制转头,转动用一台扭矩和体积更大的电机来驱动,其他采用双舵机并排驱动,以增强扭矩。

整个机器人颈部的机构如图 5 所示。

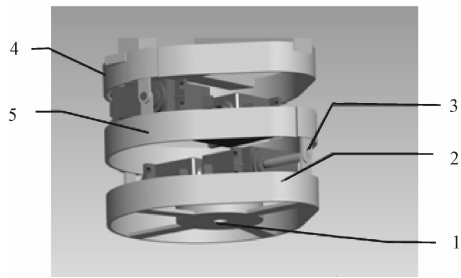


图 5 机器人颈部机构

1—电机;2—下脖颈;3—电机;4—上脖颈;5—中脖颈

2 头部机构运动干涉检验与仿真

2.1 各模块的虚拟装配

在 Pro/E 中进行装配,有两种约束方式:一种是全约束,也就是机构在组装好之后没有自由度,不允许机构运动;一种是以机构连接的方式,允许机构有自由度。因为下一步需要对机构进行运动学分析,本研究选择以机构连接的方式建立了装配模型,如图 6 所示。

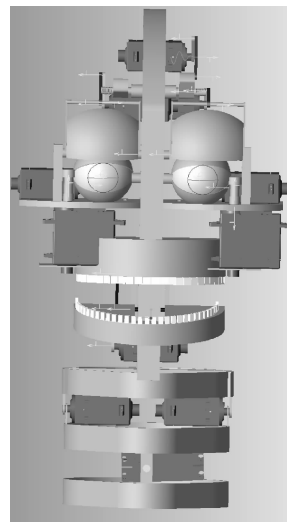


图 6 机构装配图

2.2 干涉检验

在 Pro/E 的装配环境中,如点击菜单栏中的“分析—模型—全局干涉”,有干涉的地方将会以红色线条显示。为了能够看出效果,在其中设置了有干涉的地方,如图 7 所示。

通过对装配体做干涉检验,可以清晰地看到在设计过程中是否有不合理的地方,对于进一步的修改和下一步实际制作实体机器人都有很大的帮助。

考虑到实际制造时要为机器人加上摄像头、微型传感器以及力觉传感器等外部设备,所以设计时必须留出必要的空间。可以通过在 Pro/E 中对各个模块

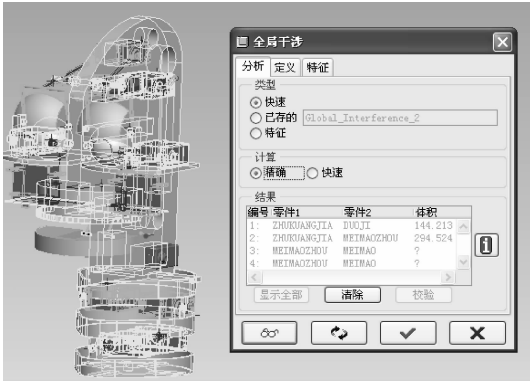


图7 对机构进行干涉检验

进行反复修改,在保证各机构不相互干涉的条件下,尽量多为下一步让机器人实现丰富的面部表情留出足够大的空间。

2.3 各机构运动学分析

运动仿真的过程首先以机构连接的方式建立需要分析的机构模型,组装并补全相关的运动配合条件;设定初始位置;加入驱动条件(让机构运动,需要伺服马达等动力条件);设定分析条件(时间、速度等)并播放和输出分析结果。根据机器人的功能要求,本研究对机器人各个模块的运动机构进行了运动学分析^[11],如图8~11所示。

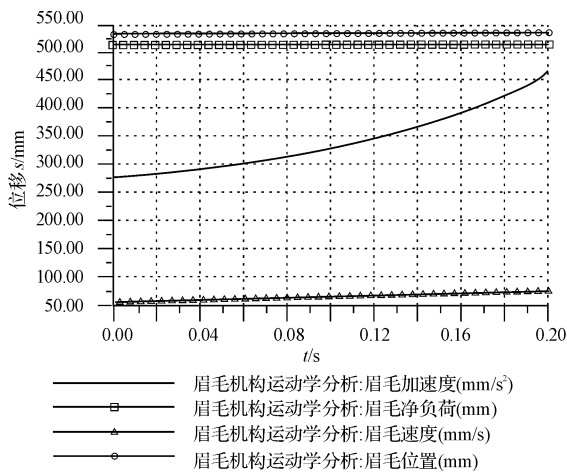


图8 眉毛机构运动学分析与测量

通过 Pro/E 对眉毛机构进行的分析,眉毛运动的位置、速度、加速度曲线如图8所示。从图8中可以看出,眉毛机构的纵向运动范围较大,而速度与加速度变化较小,也就是说机构可能受到的冲击负载较小,有利于电机的选型。

从图9中可以看出,眼睑运动的范围相对较大,可以选用不同的电机型号进行驱动。也可以通过调节眼

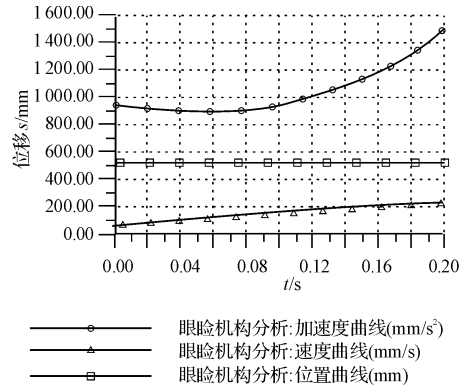


图9 眼睑机构运动学分析与测量

睑机构的杆长,使机器人实现眨眼和沉思等表情更加自然。

从图10中可以看出,速度与加速度曲线较平缓,相对负载较小。可以通过眼睛的上下、左右运动的相互配合,实现眼睛的多重运动。此外还可以在眼睛里放置 CCD 摄像机,使机器人具有视觉功能,可以更好地与人进行交互。

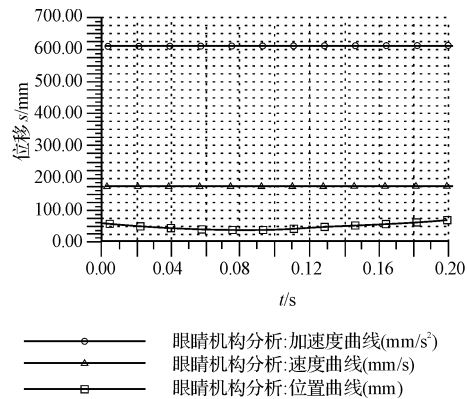


图10 眼睛机构运动学分析与测量

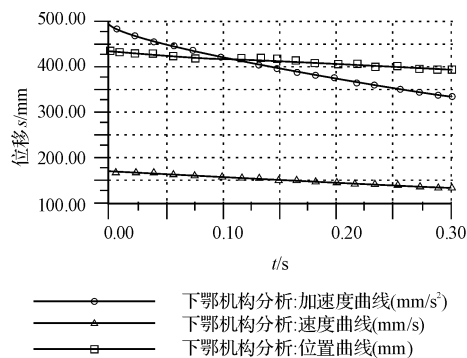


图11 下颚机构运动学分析与测量

从图11中可以看出,速度与加速度变化较大,所受到的冲击载荷必然较大。因此,在考虑下颚电机的型号时,要选择扭矩比较大的电机,通过仿真,将所需

的电机扭矩求出。通过下颚可以实现嘴部说话的动作,也可以实现微笑等表情,并能配合语音系统实现语言功能。

3 结束语

本研究通过在 Pro/E 中对仿人头部机器人进行三维建模,得出了整个头部框架的尺寸和各个模块机构的具体尺寸,对于今后制作实体机器人奠定了基础。对各个模块运动学的仿真分析,得出了各个模块的位置、速度和加速度曲线,这些曲线为今后电机的选型提供了依据。研究表明,该研究为制作仿人头部机器人提供了一定的帮助,在实际项目的应用上也具有一定的指导价值。

参考文献 (References):

- [1] HASHIMOTO T, HITPRAMTSU S, TSUJI T, et al. Development of the Face Robot SAYA for Rish Facial Expressions [C]//SICE-ICASE International Joint Conference, 2006: 5423-5428.
- [2] HASHIMOTO T, HITPRAMTSU S, KOBAYASHI H. Development of Face Robot for Emotional Communication between Human and Robot [C]//Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation June, Luoyang, China, 2006: 25-30.
- [3] MIWA H, OKUCHI T, TAKANOBU H, et al. Development of a New human-like Head Robot WE-4 [C]//Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems EPFL, Lausanne, Switzerland, Oct. 2002: 2443-2448.
- [4] MIWA H, UMETSU T, TAKANISHI A, et al. Human-like that has Olfactory Sensation and Facial Color Expression [C]// Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation Seoul, Korea, 2001: 459-464.
- [5] 孟庆梅, 吴伟国, 王 瑜. 机构及面部柔性体混合模型下的仿人头机器人行为仿真[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(6): 1466-1468.
- [6] 鹿 麟, 吴伟国, 孟庆梅. 具有视觉及面部表情的仿人头像机器人系统设计与研制[J]. 机械设计, 2007, 24(7): 20-24.
- [7] 李 娜, 陈 工, 王志良. 表情机器人设计与实现[J]. 微计算机信息, 2007, 23(12-2): 232-234.
- [8] 李素平, 陈振华, 陈 军, 等. 一款迎宾机器人的头部结构设计[J]. 机械设计, 2010, 27(7): 20-24.
- [9] 于 爽, 张永得. 一种仿人机器人面部的结构设计[J]. 机械科学与技术, 2004, 23(2): 196-203.
- [10] 国家质量技术监督局. GB/T2428-1998 成年人头面部尺寸[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [11] 柏 垠, 柯显信, 唐文彬. 基于舵机驱动的一种仿人面部表情机器人的结构设计[J]. 机电一体化, 2009, 15(9): 55-58. [编辑: 罗向阳]

(上接第 1035 页)

5 结束语

本研究针对博物馆文物存储环境参数监测时遇到的问题而提出了一种基于无线传感器网络的系统解决办法,介绍了基于无线传感器网络的博物馆环境参数监测系统。该系统可以很好地解决博物馆文物存储环境的监测问题,免去人工监测和记录的繁琐过程和对文物保存产生的影响,既降低了成本,同时又提高了监测的可靠性。该系统若能广泛应用到我国各地的博物馆中,将对我国的文物保护与博物馆环境监控与管理发挥一定的作用。

本研究在整个系统的设计和实验过程中发现,传感器节点成本较高、无线系统稳定性问题以及能耗问题,是制约该系统大范围推广使用的 3 个关键问题,也是下一步要研究和解决的主要问题。随着成本的降低和技术的进一步成熟,该系统将具有很好的应用前景和经济效益。

参考文献 (References):

- [1] 徐方圆, 吴来明, 解玉林. 武汉博物馆文物保存环境研究[J]. 文物保护与考古科学, 2007, 19(1): 8-17.
- [2] 夏 明, 董亚波, 鲁东明, 等. RelicNet: 面向野外文化遗址微气象环境监测的高可靠无线传感系统[J]. 通信学报, 2008, 11(29): 173-185.
- [3] 孙立明. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] 贾继宣, 程荣, 唐晓梅, 等. 基于 WSN 的电力线受力监测系统的设计[J]. 机电工程, 2011, 28(1): 71-74.
- [5] AKYILDIZ I F, SU W. Wireless sensor networks: a survey [J]. **Computer Networks**, 2002, 38(4): 393-422.
- [6] 徐方圆, 解玉林, 吴来明. 文物保存环境中温湿度研究[J]. 文物保护与考古科学, 2009, 21(Z1): 69-75.
- [7] 徐勇军, 刘 峰. 低速无线个域网实验教程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2008.
- [8] 孙务本, 曾奕, 江秀臣, 等. 户外在线监测装置电源系统的设计与实现[J]. 高电压技术, 2007, 33(8): 178-182.
- [9] CARLOS F G H, PABLO H I G. Wireless sensor networks and applications: a survey [J]. **International Journal of Computer Science and Network Security**, 2007, 7(3): 264-273.
- [10] ZigBee Alliance. ZigBee-Specification [M]. ZigBee Alliance, 2006. [编辑: 罗向阳]
- [1] 徐方圆, 吴来明, 解玉林. 武汉博物馆文物保存环境研究