

基于模糊逻辑控制的机器人灵巧手的抓取方式

周思跃, 龚振邦, 袁俊

(上海大学精密机械工程系, 上海 200072)

摘要: 机器人灵巧手抓取方式控制是整个灵巧手操作规划一个非常重要的环节。该文介绍了3种典型的抓取方式: 平行抓取、聚中抓取和镊式抓取。以被抓取物体的尺寸为输入量, 抓取方式作为输出量, 提出了一种基于模糊逻辑的灵巧手抓取控制算法, 并对这种算法进行了推导。在实际的机器人灵巧手遥操作系统中的应用表明, 这种基于模糊控制的灵巧手抓取方式控制方法是正确有效的, 具有使用价值。

关键词: 模糊逻辑; 灵巧手; 抓取方式

Grasp Modes of Robot Dexterous Hand Based on Fuzzy Logic Control

ZHOU Siyue, GONG Zhenbang, YUAN Jun

(Department of Precision Mechanical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

【Abstract】 Controlling the grasp mode is a very important part of the manipulation of the dexterous hand. This paper describes three typical grasp modes, parallel grasp mode, center grasp mode and nipper grasp mode. Regarded as input variable for the size of object and output variable for the grasp modes, the paper introduces a controlling arithmetic of dexterous hand grasp mode based on fuzzy logic and deduces the arithmetic. The application in the dexterous hand virtual teleoperation system shows that the arithmetic control of dexterous hand grasp mode is correct and valuable.

【Key words】 Fuzzy logic; Dexterous hand; Grasp mode

机器人灵巧手从结构和功能上模仿人手, 具有很高的灵活性, 可以完成手指间的协调控制, 尤其可以借助目标形状与手形的匹配, 完成一些精细的操作。在对机器人灵巧手抓取规划的过程中, 抓取方式的控制是其中的一个重要环节, 因为抓取方式会直接影响各个手指的运动规划、抓取点、面的选取和抓取力的规划。模糊控制不需要被控对象的精确数学模型, 而是基于专家的操作经验和操作者的经验建立模糊控制模型, 这更适用于对机器人灵巧手进行智能控制。本文介绍灵巧手根据被抓取目标的特性, 采用模糊逻辑方法来控制灵巧手的抓取方式。

1 抓取方式以及模糊控制

1.1 灵巧手的抓取方式

根据被抓取目标物的形状、大小, 在机器人灵巧手的抓取规划过程中可以采用平行抓取、聚中抓取和镊式抓取这3种最典型的抓取方式。

1.1.1 平行抓取

对于大体积的目标物可以采用平行抓取方式。灵巧手的3个手指同时与被抓取物接触, 并且每根手指的第1关节和第3关节保持平行。这种抓取方式抓持稳定, 适用于抓取大体积的物体, 这是最常用的一种抓取方式, 如图1所示。

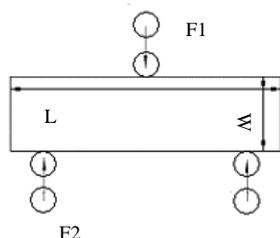


图1 平行抓取

1.1.2 聚中抓取

对于体积比较小的目标物可以采用聚中抓取方式。若目标物的宽度小于第2根手指和第3根手指在平行抓取方式时两指之间的距离, 采用平行抓取方式是无法将目标物抓牢的, 而只能采用聚中抓取的方式。在这种抓取方式下, 灵巧手在抓取目标的过程中, 手指除了平行的抓取目标外, 第2根手指和第3根手指向中间聚拢。这种抓取方式是对平行抓取的改进, 使虚拟灵巧手可以抓取体积比较小的物体, 见图2。

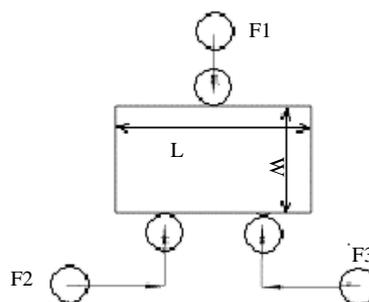


图2 聚中抓取

1.1.3 镊式抓取

对于体积特别小的目标物可以采用镊式抓取方式。若目标物的宽度稍大于甚至小于灵巧手指的直径, 则采用镊式抓取方式, 就像镊子夹物体一样。在这种抓取方式下, 由于目标物体积很小, 所以只需要用2根手指就可以抓住目标

作者简介: 周思跃(1959-), 男, 硕士, 副研究员, 主研方向: 虚拟现实, 机器人灵巧手, 机器人遥操作, 智能控制; 龚振邦, 教授、博导; 袁俊, 硕士

收稿日期: 2006-05-21 **E-mail:** syzhou@mail.shu.edu.cn

物，即采用第 2 根手指或第 3 根手指的其中一根手指与第 1 根手指配合来抓取物体，如图 3 所示。

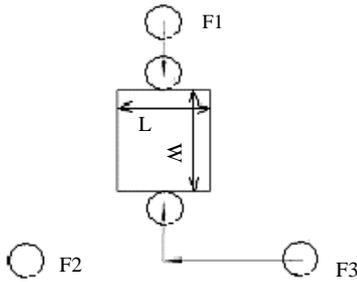


图 3 镊式抓取

1.2 模糊控制理论

模糊控制是建立在模糊集合理论基础上的基于规则的控制，它不需要被控对象的先验知识，在一定程度上可以模仿人类的操作。模糊控制器主要包括输入量、模糊化接口、知识库、推理机、清晰化接口和输出量^[1]，如图 4 所示。

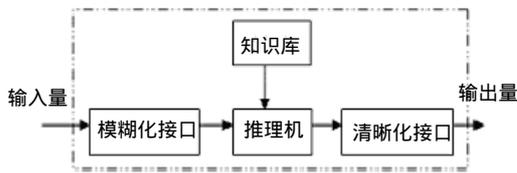


图 4 模糊控制器的组成

2 抓取方式控制算法

2.1 确定模糊控制器的输入变量和输出变量

在模糊推理中，需要考虑的是推理的输入条件和输出结果。首先要确定模糊控制的输入变量和输出变量^[2]。根据前面对平行抓取、聚中抓取和镊式抓取这 3 种抓取方式的分析，被抓取目标物体的外形尺寸是影响抓取方式的主要因素，所以理所当然地将被抓取目标的外形尺寸作为模糊控制器的输入变量，而控制器的输出为灵巧手的抓取方式。

2.1.1 输入变量

机器人灵巧手具有很高灵活性的特点决定它可以完成对不同外形物体的抓取，被抓取目标可能是长方体、圆柱体、球体甚至是不规则的物体。对于不同的物体，其外形尺寸就需要用不同的参数来描述。

在模糊控制器中，对于不同的目标就要用不同的输入变量，这样会大大增加模糊控制器的复杂程度，对模糊控制器的实现带来诸多不便。为了解决这一问题，采用了一种统一的模型来描述被抓取物体，即不论被抓取目标的实际外形尺寸如何，都用包围被抓取目标的最小的外接长方体包围盒来表示该物体。

根据灵巧手抓取操作的特点，这个外接的长方体包围盒在高度方向的参数与抓取方式的规划无关，只有长度方向和宽度方向的参数影响抓取方式。同时由灵巧手的结构参数可以计算得到抓取目标的最大尺寸为 146mm。综上所述，确定模糊控制器的输入变量及其取值范围为：长度 L，取值范围：[0,146]；宽度 W，取值范围：[0,146]。

2.1.2 输出变量

灵巧手的抓取方式是模糊控制器的输出变量，输出变量有 3 种状态，即 3 种不同的抓取方式——平行抓取(PG)、聚中抓取(JP)，镊式抓取(NP)。

灵巧手抓取控制的模糊推理如图 5 所示。

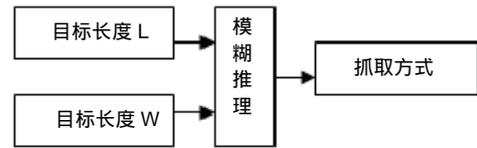


图 5 模糊推理框图

2.2 输入变量和输出变量的模糊化

2.2.1 输入变量的模糊化

在灵巧手抓取控制中有 2 个输入变量，长度 L 和宽度 W。将长度 L 的取值范围[0,146]量化到[0,8]的区间内，则长度 L 的论域为：[0,1,2,3,4,5,6,7,8]。

同理将宽度 W 的取值范围[0,146]量化到[0,8]的区间内，则宽度 W 的论域为：[0,1,2,3,4,5,6,7,8]。

长度 L 和宽度 W 的模糊语言名称为：VS(非常小)，S(小)，M(中)，B(大)，VB(非常大)。

长度 L 和宽度 W 的模糊化量化和隶属度函数分别如表 1 和图 6 所示。

表 1 长度 L 和宽度 W 的模糊化量化

L/W	0	1	2	3	4	5	6	7	8
VS	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
M	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0
B	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0
VB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0

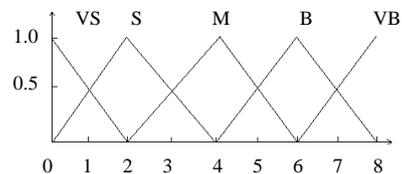


图 6 长度 L 和宽度 W 的隶属度函数

2.2.2 输出变量的模糊化

抓取方式作为输出变量有平行抓取、聚中抓取和镊式抓取 3 种模式。设定抓取方式的论域为[-2,-1,0,1,2]，其模糊语言为：PG(平行抓取)，JG(聚中抓取)，NG(镊式抓取)。抓取方式的隶属度函数和模糊化量化如图 7 和表 2 所示。

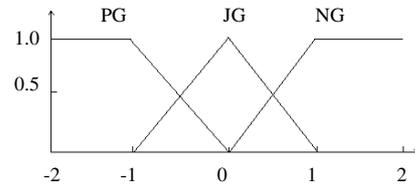


图 7 抓取方式的隶属度函数

表 2 抓取方式的模糊化量化

抓取方式	-2	-1	0	1	2
PG	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
JG	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
NG	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0

2.3 模糊控制规则的建立

模糊规则是对自然或人工语言中的单词和句子定量建模的有效工具。如果把它们理解为恰当的模糊关系,就可以研究不同的模糊推理方案。通过基于符合推理规则的推理过程,从一组模糊规则和已知事实中推得结论。模糊规则是模糊推理系统的基础。

按照人手抓取物体时的思维方式^[3],在对抓取方式控制时,主要基于以下4条原则:

- (1)如果被抓取目标的长度 L(或宽度 W)比较小,则采用镊式抓取(NG)的抓取方式;
- (2)如果被抓取目标的长度 L(或宽度 W)为中等,则采用聚中抓取(JG)的抓取方式;
- (3)如果被抓取目标的长度 L(或宽度 W)比较大,则采用平行抓取(PG)抓取方式;
- (4)选择抓取方式时按照以下的优先等级:平行抓取最高,聚中抓取其次,镊式抓取最低。

根据上述4条原则建立模糊控制规则表,以供查询使用,如表3所示。

表3 模糊控制规则表

L w	VS	S	M	B	VB
VS	NG	NG	JG	PG	PG
S	NG	JG	JG	PG	PG
M	JG	JG	PG	PG	PG
B	PG	PG	PG	PG	PG
VB	PG	PG	PG	PG	PG

2.4 模糊推理与模糊控制响应表

为便于控制和编程,事先对2个输入变量的论域中不同离散值在计算机离线时计算好一个控制表响应表,将此控制响应表存放在计算机中,然后通过查表就可以确定输出变量,适用于实时控制,便于编程。按照“最大隶属度法”的表决方法,通过模糊推理建立模糊控制响应表,如表4所示。其中:NG表示镊式抓取;JG表示聚中抓取;PG表示平行抓取。

表4 模糊控制响应表

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	NG	NG	NG	JG	JG	PG	PG	PG	PG
1	NG	NG	NG	JG	JG	PG	PG	PG	PG
2	NG	NG	JG	JG	JG	PG	PG	PG	PG
3	JG	JG	JG	JG	PG	PG	PG	PG	PG
4	JG	JG	JG	PG	PG	PG	PG	PG	PG
5	PG								
6	PG								
7	PG								
8	PG								

3 应用与结论

将上述基于模糊控制的抓取方式规划设计一个程序模

块,应用到机器人灵巧手遥操作系统中。

针对长度L和宽度W的论域中不同的离散值用计算机离线计算好相应的模糊控制表,将此表以二维数组的形式存放在程序中。

```
int GraspMode[9][9]={0,0,0,3,3,4,4,4,4,
                    0,0,0,3,3,4,4,4,4,
                    0,0,1,3,3,4,4,4,4,
                    1,1,1,1,4,4,4,4,4,
                    1,1,1,2,2,4,4,4,4,
                    2,2,2,2,2,4,4,4,4,
                    2,2,2,2,2,2,4,4,4,
                    2,2,2,2,2,2,2,4,4,
                    2,2,2,2,2,2,2,2,4,
                    2,2,2,2,2,2,2,2,2};
```

其中,二维数组 GraspMode[i][j]的行标 i 表示长度 L 在论域中的取值,列标 j 表示宽度 W 在论域中的取值, i 和 j 的取值均为:0,1,2,...,7,8。

二维数组中的元素代表模糊控制表中相应的抓取方式。

- (1)当 GraspMode[i][j] = 0 时,为镊式取的抓取方式;
- (2)当 GraspMode[i][j] = 1 时,为聚中抓取的抓取方式;
- (3)当 GraspMode[i][j] = 2 时,为平行抓取的抓取方式;
- (4)当 GraspMode[i][j] = 3 时,为聚中抓取的抓取方式。

根据 L 和 W 的取值范围和它们的论域,确定模糊控制器的比例因子为 a=9/146。

用上述比例因子把长度 L 和宽度 W 的取值从[0,146]的区间量化到[0,8]的区间内,并且分别以 L 和 W 在论域[0,8]上的取值作为二维数组 GraspMode[i][j]中 i 和 j 的取值。

在已知被抓取目标尺寸的情况下,通过抓取方式控制程序模块运行,系统可以正确地选择出最合适的抓取方式。系统中实际应用的结果如图8所示。



图8 抓取操作方式的控制

本文采用模糊控制的方法对机器人灵巧手的抓取方式进行了控制,以被抓取物体的尺寸为输入量,模拟人手抓取物体的思维模式选择最合适的抓取方式。这种基于模糊控制的抓取方式控制方法已经被应用到一个实际的灵巧手遥操作系统中。试验证明,通过这种方法可以根据被抓取目标的尺寸信息选择出合适的抓取方式,基于模糊控制的灵巧手抓取方式控制方法是正确有效的,具有使用价值。

参考文献

- 1 李庆中,顾伟康,叶秀清等. 移动机器人模糊控制方法研究[J]. 仪器仪表学报, 200, 23(5): 480-483.
- 2 何永强,朱广超,张启先. 多指灵巧手双闭环模糊控制[J]. 高技术通讯, 2004, 14(7): 69-73.
- 3 吴玉光,钱晋武. 多指灵巧手抓取规划方法综述[J]. 中国机械工程, 2004, 15(3): 277-281.