

文章编号: 2095-4980(2017)02-0285-07

基于三维空间点的手势控制策略与建模

王 康, 邢建平*, 孟宪鹏, 孟宪昊, 王子栋, 赵庆涛

(山东大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

摘 要: 针对目前大多数控制方式都是局限于特定的控制场景, 控制功能单一, 不具备普适性、便捷性, 且成功率与准确率较低的问题, 提出了 2 类基本的指令算法模型: 连续型指令、布尔型指令算法模型。将各种不同场景下一个复杂的控制任务, 通过功能分解、指令提取、模型匹配 3 个步骤分解为上述 2 类指令算法模型。模型以手部三维坐标点和手部姿态作为输入条件, 实现状态跳转和指令输出。经过实际工作和对比得到, 提出的手势控制策略可在多种情况下实现, 且提出的算法具有较高的成功率、准确率和较好的鲁棒性、便捷性、普适性。

关键词: 人机交互; 体感手势; 控制策略; 普适性

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201702.0285

Control strategy and modeling by using 3-D spatial point

WANG Kang, XING Jianping*, MENG Xianpeng, MENG Xianhao, WANG Zidong, ZHAO Qingtao
(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan Shandong 250100, China)

Abstract: With the rapid development of the new generation of Human Computer Interaction(HCI), more and more methods for body feeling gesture control are also developed. But most of the control modes are limited to specific control scenes with a single control function, and their convenience, the success rate and accuracy rate are lower. To solve these problems, two basic instruction algorithms, continuous instruction algorithm model and Boolean instruction algorithm model, are proposed. A complex control task under various scenarios will be divided into two types of instruction algorithm models mentioned above through three steps: function decomposition, instruction extraction, and model matching. The model takes the 3-D coordinates of the hand and the hand posture as the input conditions to realize the state jump and the instruction output. After practical work and comparison, the proposed control strategy can be implemented in many cases, and the algorithm proposed in this paper has high success rate, accuracy and robustness.

Keywords: Human Computer Interaction; somatosensory; control strategy; universal nature

人机交互(HCI)是指通过计算机输入、输出设备, 以有效的方式实现人与计算机对话的技术^[1], 是与认知心理学、人机工程学、多媒体技术、虚拟现实技术等密切相关的综合学科。人机交互的发展经历了 3 次革命: 鼠标交互、触屏交互、体感交互^[2]。鼠标、触屏技术的交流语言并不来自于人类本身, 用户需要时间去学习如何与机器对话。体感技术应运而生, 使用体感设备的用户可以直接使用肢体动作, 与周边的装置或环境互动, 而无需使用任何复杂的控制设备, 便可身历其境地与内容做互动^[3]。目前具有代表性的体感设备有: Leap motion, MYO, Kinect 等。Leap motion 传感器根据内置的 2 个摄像头从不同角度捕获画面, 重建出手掌在真实世界三维空间的运动信息进行控制; MYO 可以捕捉到用户手臂肌肉运动时产生的生物电变化, 再将信息处理的结果通过蓝牙发送至受控设备; Kinect 是一种 3-D 体感摄影机, 通过捕获目标人体的肢体信息进行相关控制。

目前, 已经有研究者尝试用体感技术来对某些系统进行控制, 西安交通大学的朱明著^[4]和山东大学的李健^[5]分别利用 Kinect 实现演示文稿的控制功能, 但缺乏可以直接翻阅到指定页面的功能。西安电子科技大学工程学院的鲍峰^[6]利用 Kinect 实现了一种人机交互演示系统, 平均识别率为 88%, 精确度仍存在提升空间。中央

收稿日期: 2015-12-02; 修回日期: 2016-01-04

*通信作者: 邢建平 email:sduxingjianping@163.com

民族大学的杜响红^[7]、西安航空学院的王涛^[8]研究了体感技术在多媒体教学中的应用；吴志勇、杜振等^[9]利用 Kinect 实现家电手势控制；邓頔、华泽玺等^[10]利用 Kinect 实现了电子相册的控制，这些研究虽然实现了部分手势控制的功能，但还存在手势操控系统不完善、手势设计不够人性化、手势控制不具备普适性、操控精确度尚未达到实用化标准等问题。

针对目前种类繁杂的手势控制，本文提出了一种普适性的手势控制策略与 2 类基本的指令算法模型：连续型指令算法模型、布尔型指令算法模型。通过对实际控制任务进行功能需求分析，依据控制特点将任务分解为有限的多个控制功能，针对单个控制功能进行控制指令设计，结合该功能的需求将其进一步细化为多个具体的控制指令，再将单个具体控制指令与算法模型进行匹配实现。

1 控制策略描述

本文提出 2 类基本的指令算法模型：连续型指令算法模型、布尔型指令算法模型。对于各种场景下不同的控制任务，通过功能分解、指令提取、模型匹配 3 个步骤将一个复杂的控制问题分解为 2 类指令算法模型的实现。因此该控制策略可以普遍适用于多种控制场景，具有良好的普适性，如图 1 所示。

1) 功能分解

功能分解是指对实际控制任务进行功能需求分析，依据控制特点将任务分解为有限的多个控制功能。如，在音乐控制任务中，可以根据音乐控制的特点，将其分解为歌曲切换、音量调整、进度调整 3 个控制功能。

2) 指令提取

指令提取是指对单个控制功能进行控制指令设计，结合该功能的需求将其进一步细化为多个具体的控制指令。如，音乐控制中的歌曲切换功能中可提取“上一曲”、“下一曲”2 个控制指令，音量调整功能可以提取“音量加”、“音量减”、“音量设为某值”3 个控制指令。

3) 模型匹配

模型匹配是将单个具体控制指令与算法模型进行匹配实现，任何一个控制指令与 2 类模型有且只有 1 种匹配方式。如，“音量加、音量减”与布尔型指令模型匹配，因为这 2 个指令只有“触发”和“未触发”2 类输出；而音量设为某值与连续型指令模型匹配，因为该指令除了“触发”和“未触发”，还需具备“音量值”输出，且“音量值”是在一个有效范围内连续变化的数值。

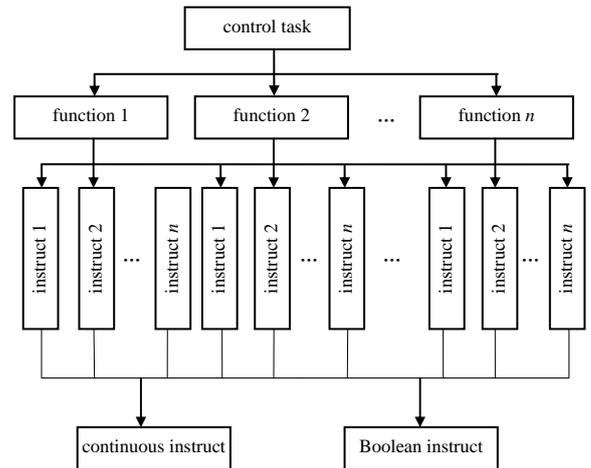


Fig.1 Control strategy description
图 1 控制策略描述图

2 指令算法模型

本文提出 2 类基本的指令算法模型：连续型指令算法模型、布尔型指令算法模型。

2.1 2 类模型具有相同的输入信号

1) P:HandPosition:3-D point (x, y, z)

HandPosition 表示手部相对于摄像头坐标系的空间位置，是一个三维坐标点。x,y,z 分别表示手部在坐标系中的水平坐标、竖直坐标和深度坐标。

2) S:HandState:Open/Close/Yeah/Unknown

HandState 表示手部当前的状态，是一个枚举类型值。Open,Close,Yeah,Unknown 分别表示手部张开、握住、半握及未确定 4 种不同的状态。

2.2 2 类模型具有不同的输出信号

1) b(true/false)

布尔型指令算法模型的输出 b 有 2 个值： $true$ 表示触发； $false$ 表示非触发。

2) f(0~1)

连续型指令算法模型的输出 f 是一个连续变化的值，其取值范围是 0~1 之间任意大小的浮点数据值。

2.3.2 类模型具有不同的状态转换

2.3.1 布尔型指令算法模型

布尔型指令算法模型, 见图 2。

Q_0 为布尔型指令初始状态, 此时有 2 条状态跳转路线:

- 1) 当输入信号为 P_0S_0 时, 模型输出 false, 然后跳转到 Q_1 状态, 表示模型进入等待触发状态;
- 2) 当输入信号为其他时, 模型输出 false 并维持在 Q_0 状态不变, 表示模型等待进入等待触发状态。

Q_1 为布尔型指令待触发状态, 此时有 3 条状态跳转路线:

- 1) 当输入信号为 P_1S_1 时, 模型输出 false, 然后跳转到 Q_0 状态, 表示布尔型指令触发中止, 回到初始状态 Q_0 ;
 - 2) 当输入信号为 P_2S_2 时, 模型输出 true, 然后跳转到 Q_0 状态, 表示布尔型指令成功触发, 回到初始状态 Q_0 ;
 - 3) 当输入信号为其他时, 模型输出 false 并维持在 Q_1 状态, 表示等待布尔型指令触发或中止。
- 状态转换表见表 1。

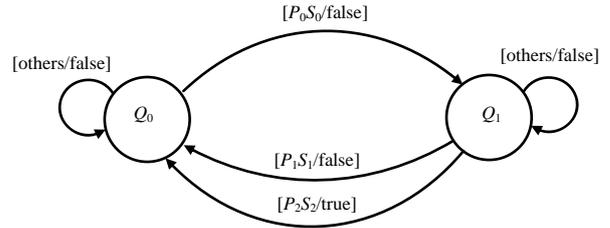


Fig.2 Boolean instruction algorithm model
图 2 布尔型指令算法模型

表 1 状态转换表

Q_n	P	S	B	Q_{n+1}
Q_0	P_0	S_0	false	Q_1
Q_0	other	other	false	Q_0
Q_1	P_1	S_1	false	Q_0
Q_1	P_2	S_2	true	Q_0
Q_1	other	other	false	Q_1

2.3.2 连续型指令算法模型

连续型指令算法模型见图 3。

Q_0 为连续型指令的初始状态, 此时有 2 条状态跳转路线:

- 1) 当输入信号为 P_0S_0 时, 模型输出 null, 然后跳转到 Q_1 状态, 表示模型进入等待触发状态;
- 2) 当输入信号为其他时, 模型输出 null 并维持在初始状态 Q_0 不变。

Q_1 为连续型指令待执行状态, 此时有 3 条状态跳转路线:

- 1) 当输入信号为 P_1S_1 时, 模型输出 null, 然后跳转到 Q_0 状态, 表示连续型指令待执行状态中止, 回到初始状态 Q_0 ;
- 2) 当输入信号为 P_2S_2 时, 模型输出 null, 然后跳转到 Q_2 状态, 表示模型进入连续型指令执行状态 Q_2 ;
- 3) 当输入信号为其他时, 模型输出 null 并维持在 Q_1 状态, 表示等待进入连续型指令执行状态 Q_2 。

Q_2 为连续型指令执行状态, 此时有 2 条状态跳转路线:

- 1) 当输入信号为 P_3S_3 时, 模型输出 $F(PS)$, 并维持在 Q_2 状态, 其中 $F(PS)$ 表示以输入信号 p 为自变量的函数值, 即连续型指令的输出信号 f ;
 - 2) 当输入信号为其他时, 模型输出 null, 然后跳转到 Q_0 状态, 表示连续型指令执行结束, 进入初始状态 Q_0 。
- 状态转换表见表 2。

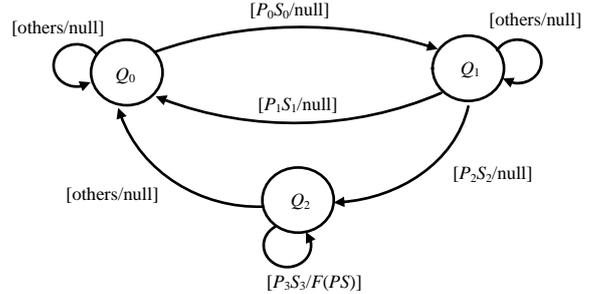


Fig.3 Continuous instruction algorithm model
图 3 连续性指令算法模型

表 2 状态转换表

Q_n	P	S	B	Q_{n+1}
Q_0	P_0	S_0	null	Q_1
Q_0	other	other	null	Q_0
Q_1	P_1	S_1	null	Q_0
Q_1	P_2	S_2	null	Q_2
Q_1	P_3	S_3	$F(PS)$	Q_2
Q_2	other	other	null	Q_0

3 区域划分与识别

3.1 坐标空间

选择微软的 Kinect 作为深度摄像头, 摄像头的世界坐标系如图 4 所示。用于区域判定的坐标轴 x, y, z 是深度感应器实

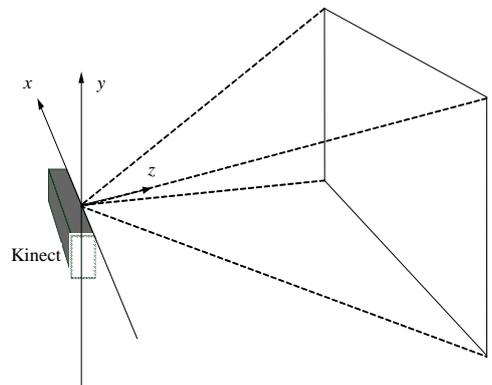


Fig.4 World coordinate system of somatosensory camer
图 4 体感摄像头世界坐标系

体空间的 x,y,z 坐标轴。这个坐标系是符合右手螺旋定则的，深度摄像头处于原点上， z 坐标轴与深度摄像头感应的朝向一致， y 轴正半轴向上延伸， x 轴正半轴(从深度摄像头的视角来看)向左延伸。

深度摄像头 Kinect 技术架构分为硬件层、驱动层、接口层、应用层，通过接口 API 可以获取 Color,Infrare, Depth,Audio,BodyIndex,Body 6 种数据源，此文主要用到 Body 数据源，在程序中从数据源中获取帧数据，再根据其格式提取其中的骨骼点数据，即可得到关节点。当目标人体处在深度摄像头视野范围内时，可获得人体 25 个关节点的三维坐标。

3.2 区域划分

为了屏蔽不同身体比例的人在操作时产生的差异，需要选取一个人体的基准尺寸。该尺寸可以为肩宽、臂长、腿长等，但考虑由于肢体移动中产生关节点遮挡造成的误差，选择脊柱下段长度为人体基准尺寸。

$$\text{PeopleSize} = \sqrt{(X_{\text{SpineBase}} - X_{\text{SpineMid}})^2 + (Y_{\text{SpineBase}} - Y_{\text{SpineMid}})^2} \quad (1)$$

在选取坐标原点时需考虑以下几点：a) 因为不同时刻、不同人体相对摄像头绝对位置不同，坐标原点应该选取人体身上一点。b) 由于人体手部坐标点在摄像头坐标系内的位置是动态变化的，因此不能使用手部的绝对坐标进行计算。c) 该点应满足不被其他人体骨骼点遮挡。综上考虑，选取人体脊柱中点(SpineMid)作为坐标原点。

考虑到不同人体的不同臂长和身高问题，本文选取的手部坐标为相对坐标值。定义如下：以右手为例，右手 X 轴相对坐标为右手实际的 X 轴坐标值 $X_{\text{HandRight}}$ 与脊柱中段点 X 轴坐标值 X_{SpineMid} 差值除以人体基本尺寸 PeopleSize。公式表示为：

$$\text{Hand}_x = \frac{(X_{\text{HandRight}} - X_{\text{SpineMid}})}{\text{PeopleSize}} \quad (2)$$

根据手部正常的活动范围，确定 x 轴手部相对坐标的取值范围为：

$$\text{MinHand}_x < x < \text{MaxHand}_x \quad (3)$$

式中 MinHand_x 和 MaxHand_x 的实际值将通过实验统计获得。

将正常活动区分为 3 部分，见图 5。

分界点为 A,B ：

$$\text{Position}_A = \text{MinHand}_x + \frac{\text{MaxHand}_x - \text{MinHand}_x}{3} \quad (4)$$

$$\text{Position}_B = \text{MinHand}_x + \frac{2(\text{MaxHand}_x - \text{MinHand}_x)}{3} \quad (5)$$

判断手部相对坐标 Hand_x 的范围，确定手部所处的区域，见图 6。

$$F(\text{Hand}_x) = \begin{cases} 1 & (\text{Hand}_x < \text{Position}_A) \\ 2 & (\text{Position}_A < \text{Hand}_x < \text{Position}_B) \\ 3 & (\text{Hand}_x > \text{Position}_B) \end{cases} \quad (6)$$

在实际控制中，若仅对 x 轴进行区域划分和识别，多数情况下无法满足控制的准确性要求。因此需要另外 2 个坐标轴上进行有效区域界定，以达到精确控制的目的。

y 轴有效区域需满足以下条件：

$$\text{Hand}_y = Y_{\text{HandRight}} \quad (7)$$

$$Y_{\text{ElbowRight}} < \text{Hand}_y < Y_{\text{Head}} \quad (8)$$

即手部的纵坐标最大值不大于头部纵坐标值，且最小值不小于肘部纵坐标值。

z 轴有效区域需满足以下条件：

$$\text{Hand}_z = Z_{\text{HandRight}} \quad (9)$$

$$\text{Hand}_z < Z_{\text{SpineMid}} \quad (10)$$

即手部的深度坐标要小于脊柱中段的深度坐标值。

$$F'(\text{Hand}) = \begin{cases} 0 & (\text{Hand}_x < \text{Position}_A) \\ F(\text{Hand}_x) & \left(\begin{matrix} Y_{\text{ElbowRight}} < \text{Hand}_y < Y_{\text{Head}} \\ \text{Hand}_z < Z_{\text{SpineMid}} \end{matrix} \right) \end{cases} \quad (11)$$

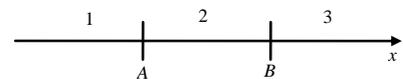


Fig.5 Division of the active region of the hand
图 5 手部活动区域划分

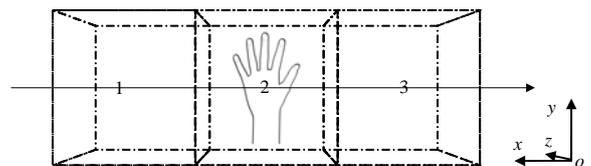


Fig.6 Regional definition
图 6 区域界定

对于多于 3 种区域划分与识别,可以扩展到 3 个坐标轴上,方法同上。因此该方法单手可以实现最多 27 个区域的划分与识别,如图 7、图 8 所示。由于区域划分过多会导致控制精确度和准确度下降,因此在实际控制任务中一般选用单坐标轴或双坐标轴的区域划分方法。对于需要多种控制功能和指令的控制任务,采用分级菜单或结合左右手的控制方式。

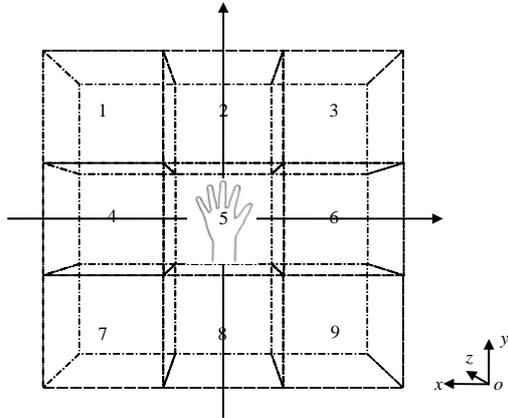


Fig.7 Regional definition
图 7 区域界定

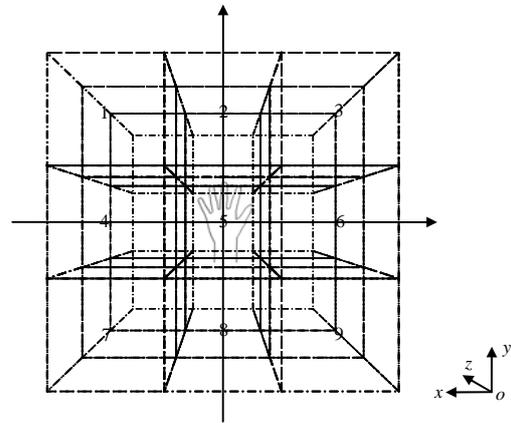


Fig.8 Regional definition
图 8 区域界定

下面以右手单轴 3 区域划分方法进行识别区域算法的实现。如图 9 所示:右手划分为 RA, RB, RC 3 个区域, RA 和 RC 用于实现布尔型指令, RB 用于实现连续型指令。状态转换图如图 10 所示。

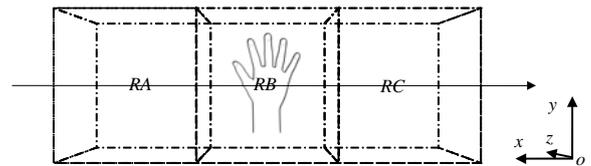


Fig.9 Three areas of right hand single axis
图 9 右手单轴 3 区域

算法叙述如下:

1) Q_0 为右手的初始状态,此时右手处于区域:

$RA \cup RB \cup RC$, 有 3 条状态跳转路线:

- a) 右手移至区域 RA 并保持张开状态,模型输出 null,然后跳转到 Q_1 状态,表示等待布尔型指令的触发;
- b) 右手移至区域 RB 并保持张开状态,模型输出 null,然后跳转到 Q_2 状态,表示等待连续型指令的触发;
- c) 右手移至区域 RC 并保持张开状态,模型输出 null,然后跳转到 Q_3 状态,表示等待布尔型指令的触发。

2) Q_1 为右手布尔型指令待触发状态,此时右手处于区域: RA , 有 3 条状态跳转路线:

a) 右手处于区域 RA 且做出握拳动作,模型输出 $F_A(\text{ture})$,然后跳转到 Q_0 状态,表示布尔型指令成功触发。其中 $F_A(\text{ture})$ 表示 A 区域触发动作相关函数;

b) 右手移出区域 RA ,模型输出 null,然后跳转到 Q_0 状态,表示布尔型指令触发中止,回到指令初始状态 Q_0 ;

c) 右手处于区域 RA 且处于张开状态,模型输出 null 并维持在 Q_1 状态,表示继续等待布尔型指令的触发。

3) Q_2 为右手连续型指令待执行状态,此时右手处于区域: RB , 有 3 条状态跳转路线:

a) 右手处于区域 RB 且做出握拳动作,模型跳转到 Q_4 状态,表示等待进入连续型指令执行;

b) 右手移出区域 RB ,模型输出 null,然后跳转到 Q_0 状态,表示连续型指令触发中止,回到指令初始状态 Q_0 ;

c) 右手处于区域 RB 且处于张开状态,模型输出 null 并维持在 Q_2 状态,表示继续等待进入连续型指令执行。

4) Q_3 右手布尔型指令待触发状态,此时右手处于区域: RC , 有 3 条状态跳转路线:

a) 右手处于区域 RC 且处于握拳状态,模型输出 $F_C(\text{true})$,然后跳转到 Q_0 状态,表示布尔型指令成功触发。其中 $F_C(\text{true})$ 表示与 B 区域触发动作相关的函数;

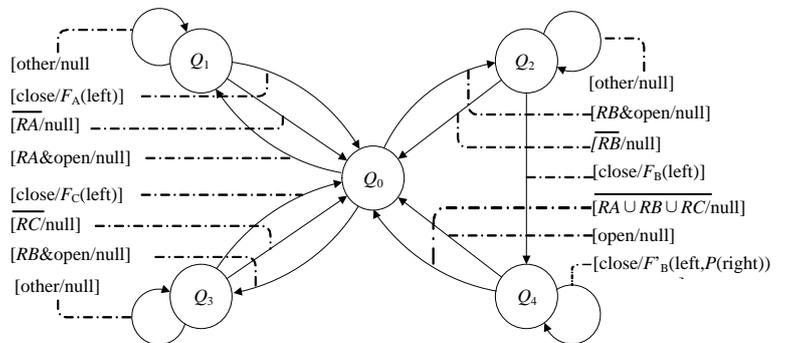


Fig.10 State transition
图 10 状态转换

- b) 右手移出区域 RC , 模型输出 $null$, 然后跳转到 Q_0 状态, 表示连续型指令触发中止, 回到指令初始状态 Q_0 ;
- c) 右手处于区域 RC 且处于张开状态, 模型输出 $null$ 并维持在 Q_1 状态, 表示继续等待布尔型指令的触发。
- 5) Q_4 右手连续型指令执行状态, 此时右手处于区域: RB , 有 2 条状态跳转路线:
- a) 右手处于区域 RB 且处于握拳状态, 模型输出并维持在 Q_4 状态, 其中 $F_B(P_{right}S_{right})$ 表示以右手三维空间点和右手状态为自变量的函数值;
- b) 右手移出区域 $[RA \cup RB \cup RC]$ 或处于张开状态, 模型输出 $null$, 然后跳转到 Q_0 状态, 表示连续型指令执行结束, 进入初始状态 Q_0 。

4 对比分析

4.1 定性分析

为证明本文策略控制的普适性, 选取了 7 篇相关的论文进行定性分析验证, 验证中将文献中提到的算法同样归纳为布尔型功能的实现与连续型功能的实现。并是否具有普适性进行再次重做, 得到结果如表 3 所示。

表 3 定性分析

	Boolean	continuous	universality
Ref.[4]	✓	✗	✗
Ref. [5]	✓	✓	✗
Ref. [6]	✓	✓	✗
Ref. [7]	✓	✗	✗
Ref. [8]	✓	✗	✗
Ref. [9]	✓	✓	✗
Ref. [10]	✗	✓	✗
this paper	✓	✓	✓

文献[4]和[5]分别利用 Kinect 实现单一的演示文稿的控制功能; 文献[6]利用 Kinect 实现了一种人机交互演示系统; 文献[7]和[8]研究了体感技术在多媒体教学中的应用; 文献[9]利用 Kinect 实现家电手势控制; 文献[10]利用 Kinect 实现了电子相册的控制。由此可知, 上述文献所使用的算法和控制策略皆是针对单一具体功能的实现, 不具备普适性。而本文提出的控制策略对于上述控制场景皆可重现。从表中可以清晰地对比出, 目前大多数算法针对布尔型功能的研究较多, 而连续型相关研究只有少数提到, 且没有就普适性问题提出一个解决方案, 说明本文开创性地提出了一种具有普适性的策略控制。

4.2 定量分析

在手势控制识别的实现中, 将本文提出的指令算法模型与区域划分识别算法实现的手势控制进行大量重复实验。实验中找到了 5 位身高、胖瘦、性别不同的执行者进行操作控制, 将控制指令确定为前文的音量加、减与音量设置。对于每个指令每人分别进行了 50 组控制操作。统计结果如表 4 所示。

表 4 定量分析

	performer 1	performer 2	performer 3	performer 4	performer 5
volume+/%	100	99	99	100	100
volume -/%	100	98	99	99	97
volume set/%	98	95	99	95	96
accuracy rate/%	99.33	97.33	99	9	97.67

然后选取其他相关文献所用算法进行对比实验。在完成同一控制功能“音量加”的情况下得到的准确率结果如表 5 所示。从表中可以看出, 本文所提出的解决方案对比文献不仅具有普适性, 而且具有较高的准确率。

表 5 定量分析

references	Ref. [5]	Ref. [6]	Ref. [8]	this paper
accuracy rate/%	97.30	88.00	94.00	98.27

5 结论

本文设计并实现了基于深度摄像头并将其转换为三维空间坐标点进行处理的动态手势提取及识别控制策略。本控制策略将各种场景下不同的控制任务, 通过功能分解、指令提取、模型匹配 3 个步骤把一个复杂的控制问题分解为 2 类指令算法模型。这种控制策略使用设备简单, 计算量少, 效率和识别率高, 与目前大多数相关工作相比具有普适性, 可以应用到多个需要手势控制的系统中。后续工作可以进行追加指尖的识别, 通过不同指尖的不同状态来区分不同的功能, 预计可以更加高效地利用有限的识别区域。

参考文献:

- [1] KAPTELININ V, NARDI B. Activity theory in HCI: fundamentals and reflections[J]. Synthesis Lectures on Human Centered Informatics, 2013,5(5):179-184.
- [2] LIN H. Design and implementation of robot arm somatosensory interaction system based on Kinect skeletal[J]. Computer Applications & Software, 2013,227(2):171-183.

- [3] 张诗潮,钱冬明. 体感技术现状和发展研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2014(2):40-49. (ZHANG Shichao, QIAN Dongming. Research status and development studies of motion sensing technology[J]. Journal of East China Normal University(Natural Science), 2014(2):40-49.)
- [4] 朱明茗,景红. 基于 Kinect 的 PPT 控制系统研究[J]. 中国教育信息化, 2014(9):80-81. (ZHU Mingming, JING Hong. Control system based on Kinect[J]. Chinese Education Informationization, 2014(9):80-81.)
- [5] 李健,路飞,田国会,等. 基于 Kinect 的 PPT 全自动控制系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2013,49(17):133-138. (LI Jian, LU Fei, TIAN Guohui, et al. Research of PPT automatic control system based on Kinect [J]. Computer Engineering and Applications, 2013,49(17):133-138.)
- [6] 鲍峰,卢稼奇,黎楚秦. 基于 Kinect 的人机交互演示系统[J]. 计算机与现代化, 2013(10):46-50. (BAO Feng, LU Jiaqi, LI Chuqin. Human computer interaction demonstration system based on Kinect[J]. Computer and Modernization, 2013(10):46-50.)
- [7] 杜响红,李一红,冯闫,等. 基于 Kinect 的体感交互系统在多媒体教学中的应用研究[J]. 计算机光盘软件与应用, 2014(2):202-203. (DU Xianghong, LI Yihong, FENG Yan, et al. Somatosensory interaction system application in multimedia instruction based on Kinect[J]. Computer CD Software and Applications, 2014(2):202-203.)
- [8] 王涛. 人机交互多媒体教学系统浅析[J]. 西安航空学院学报, 2015(1):76-79. (WANG Tao. The elementary analysis of interactive multimedia teaching system[J]. Journal of Xi'an Aeronautical University, 2015(1):76-79.)
- [9] 吴志勇,杜振. 基于 Kinect 传感器的家电手势控制应用研究[J]. 电视技术, 2015,39(16):51-53. (WU Zhiyong, DU Zhen. Research on gesture control system applied on home appliance by Kinect sensor[J]. Video Engineering, 2015,39(16):51-53.)
- [10] 邓頔,华泽玺. 基于 Kinect 的体感电子相册的设计与实现[J]. 现代计算机, 2013(2):54-58. (DENG Di, HUA Zexi. Design and implementation of somatosensory album based on Kinect[J]. Modern Computer, 2013(2):54-58.)

作者简介:



王康(1988-),男,山东省淄博市人,在读硕士研究生,主要研究方向为人工智能机器人和智能体感交互技术 .email:momokang0614@126.com.

王子栋(1993-),男,山东省潍坊市人,在读硕士研究生,主要研究方向为人工智能机器人和组合导航.

邢建平(1969-),男,山东省烟台市人,教授,从事导航通信与智能交通方向的研究.

孟宪鹏(1991-),男,黑龙江省牡丹江市人,在读硕士研究生,主要研究方向为人工智能机器人和智能体感交互技术.

孟宪昊(1990-),男,辽宁省本溪市人,在读硕士研究生,主要研究方向为人工智能机器人和智能体感交互技术.

赵庆涛(1990-),男,济南市人,在读硕士研究生,主要研究方向为人工智能机器人和高精度定位导航和大数据挖掘领域.