

# 计算机视觉在球类机器人和行为理解研究中的应用与发展

齐丙辰

(天津师范大学计算机科学系, 天津 300074)

大川善邦

(日本大学工学部)

**摘要** 智能机器人是当今机器人研究的热点,并逐渐由制造领域向非制造领域发展。本文以几种国内外近年研制的新型球类运动机器人为例,介绍了计算机视觉在智能机器人研究中的应用情况。另外,有关人与机器人之间的视觉行为理解研究是计算机视觉研究与智能机器人研究领域的新发展,本文对此也进行了介绍。

**关键词** 计算机视觉 智能机器人 球类运动 视觉行为理解

## 1 引言

30多年来,机器人工业从无到有,发展很快,至1996年底全世界的机器人总量已达到了86万台。随着机器人研究水平和应用水平的不断提高,计算机视觉对机器人工业的发展起着越来越重要的作用。以拥有占世界总量一多半的机器人,被称为“机器人王国”的日本为例,其1995年的机器人产量约为6万台,产值为5000亿元左右。据日本机器人工业会的统计,这些机器人的绝大部分为一般的工业用机器人,能划分为智能机器人的仅占7%。虽然智能机器人在数量上不多,但在产值上却占到了21%。这些智能机器人基本上都是从事装配工作的机器人,与一般的工业机器人比较而言,其显著特点就是它们基本上都具备有计算机视觉功能。也就是说,计算机视觉功能成了目前已实用化了的智能机器人的主要商品特征之一。

虽然目前生产的机器人主要应用于制造领域,但非制造领域对机器人的需求也日益增强。近年来,在福利医疗、体育娱乐和海洋开发等非制造领域的机器人研究工作都取得了进展。比起制造领域的生产流水线环境,机器人在非制造领域的工作环境更为复杂多变,从而也对计算机视觉研究提出了新的要求。

球类运动机器人的研制与计算机视觉研究的关系非常密切,本文先以这种机器人为例介绍一下计算机视觉在智能机器人研究中的应用情况。

## 2 球类运动机器人研究中的计算机视觉技术

### 2.1 曲棍球机器人

Shimauchi等人<sup>[1]</sup>研制了一套打曲棍球的机器人系统。该系统利用计算机视觉来观测曲棍球的运动情况。系统的摄像机安装在曲棍球运动范围的正上方,其光轴的方向为垂直向下。在曲棍球机器人的图象处理过程中,采用了对相邻场或相隔几场的图象进行高速相关演算的方法来测量运动中的曲棍球位置。

根据上述图象的相关演算结果,当机器人发现了运动中的曲棍球后,就对曲棍球当时的位置坐标进行计算。当得到了2个以上的曲棍球位置坐标后,利用其中的两个位置坐标便可计算出曲棍球的运动方向,再由这2个位置坐标之间的距离和时间间隔便可计算出曲棍球的运动速度。然后,机器人系统根据曲棍球的运动方向和速度去计算机械手的合适接球位置;并根据曲棍球因摩擦而产生的负加速度以及曲棍球当时位置与机械手预定接球位置之间的距

离,计算出曲棍球到达机械手接球位置所需要的时间。

按照预测的来球方向和速度,以及计划的回球方向(目前还没对回球速度进行控制),曲棍球机器人计算出机械手的适当回球位姿,并在曲棍球到达接球位置时,控制机械手运动到预定的接球位置,将对方击来的曲棍球按计划的方向返回。

## 2.2 沙滩排球机器人

在上述的曲棍球机器人系统中,摄像机没被安装在机械手上,而是固定在曲棍球运动范围的正上方。此外,一些网球机器人、乒乓球机器人等球类运动机器人的摄像机也采用了类似的安装方式,或固定在运动场所的正上方,或固定在运动场所的侧面。

Tatsuno 等人<sup>[2]</sup>所研制的沙滩排球机器人系统中共使用了3台摄像机。为了更好地实现机械手对球的操作,采用了将摄像机安装在机械手上的方式。其中的两台摄像机安装在机械手上的一个具有两自由度的电动云台上,采用两眼立体视的方法,并以左摄像机摄取的图象为主图象,对球的运动进行位置跟踪和测定。此外,在机械手上还安装有一台带变焦镜头的摄像机,用以观测打球对手的位置及其身体动作。沙滩排球机器人利用此三台摄像机获取的视觉信息对球的运动轨迹和将来位置进行预测,并根据球的运动情况控制机械手的动作,使机械手于适当的时刻,在预定的击球位置,以合适的角度和速度将对手击来的球击回。

## 2.3 台球机器人

对上述球类机器人系统来说,具有两个共同的特点:

(1) 在上述球类运动中,不管有几个选手或机器人参与运动,所使用的球只有一个,既机器人只需操作一个球。(2) 目前,在上述球类机器人系统中已装备有机械手和图象处理装置,即已实现了相当于人的手和眼的功能。但因种种原因,还没具备移动(即腿)的功能。

与上述球类运动相比,台球运动的特点为:

(1) 它不只使用一个球,通常至少要操作两个球。因此,对将摄像机安装在机械手上的台球机器人来说,当台球之间距离较近时,在摄像机摄取的图象中就有可能得到相互重叠的台球图象,从而要求台球机器人能较好地测定被遮挡台球的位置坐标。

(2) 它不是直接击球入袋,而是要求机械手上

的击球装置先以合适的角度撞击一个球,再让此球去撞击另一个球,从而间接地将后一个球送入球袋中。此项间接击球入袋的台球规则,对台球机器人测量台球位置的精度提出了较高要求。(3) 为了能利用人类运动员使用的标准台球台打台球,要求台球机器人不仅应具备机械手和图象处理装置,而且最好还要具备移动功能。

Qi 等人<sup>[3]</sup>研制的台球机器人装备有2自由度的车轮移动机构和4自由度的机械手。其中,机械手上附有专用的击球装置,并安装了具有一个自由度的云台,云台上固定有摄像机。由于台球机器人具备了移动功能,所以便于实现移动视觉和主动视觉。通过选择适当的观测位置和观测角度,可减少摄像机成像平面上产生相重叠的台球图象的机会。

台球机器人在测量台球的位置坐标时,首先通过对云台的控制,使机械手上摄像机的光轴与水平面呈一定角度并沿斜下方向指向球台。随后便进行所谓对中处理,既通过调整机械手的位姿,使摄像机光轴所在的垂直平面通过或尽量接近被测台球的球心。此对中处理有利于提高台球机器人对台球位置坐标的测量精度。

在台球的通常呈椭圆形的轮廓曲线上,各图象数据点不可避免地存在有数据噪声,为了进一步提高台球机器人图象处理系统对台球位置的测量精度,可对从该轮廓曲线上获取的图象数据利用最小二乘法进行数据处理,以抑制数据噪声。

然后,台球机器人根据获取的台球位置坐标等数据和球体碰撞原理,计算出机械手应采取的击球角度,并调整机械手的位姿,使机械手上附有的专用击球装置瞄准并撞击台球,以便将目标球击入球袋。

## 3 智能机器人系统中的视觉行为理解研究

在人们相互之间进行信息交流时,为了使对方理解自己的意图,大量使用语言作为信息传递的手段。但单纯使用语言进行信息传递也有其局限性,甚至有些信息用语言不便表达,为了提高信息传递效果,人们还往往配合使用一些其它的信息传递方式。例如,教师给学生授课时,除了语言外,还常利用板书、图表、实验演示等手段辅助教学。另外,在信息交流中,人们的一些有意识或无意识的体态、动作、表情以及周围环境等因素,也能为对方传递过去不少有用的信息。所以,除了语言方式外,非语言方式在

信息交流中也起着重要作用。甚至有人认为<sup>[4]</sup>,从传递的信息量在总信息量中所占比例来看,非语言方式并不亚于语言方式。

至于人与机器人之间的信息交流,目前的交流手段还比较单一。尤其对一般的工业机器人来说,为了让机器人了解人们的工作意图,基本上只能通过人们的操作教导或事前编程来实现。然而,今后机器人从事的工作将越来越复杂,除了要考虑人与单台机器人之间的信息交流外,还要考虑人与多台机器人之间、甚至多台机器人中机器人与机器人之间的信息交流。为了高效地进行这些交流,除了通常的数据通信等方式外,还需研究和开发包括计算机视觉在内的多种新型信息交流方式。

另外,Inoue<sup>[5]</sup>、Sato<sup>[6]</sup>等人认为,人们为了不断扩充自己的能力而发明了各式各样的机器,至今现代人已是在众多机器的包围之中工作和生活了。这些机器虽然给人们带来了效率和便利,但也给人们增添了许多新的负担(如复杂的操作、编程等)。为了减轻这种负担,就需要考虑以人为中心的系统设计方法,逐步形成更有利于人的新型人机协调关系。这其中就包括人与机器之间应能更方便更直观地交流各种信息,使机器能更容易接受人的控制、更有效地为人类服务。

为此,一些学者在这方面做了些有益的探讨。Sugano<sup>[7]</sup>等人研制的人形机器人系统 Hadaly-2 具有头部、双臂和双手。其中头部的自由度为 12,臂的自由度为 7,而手有 4 指其自由度为 13。该机器人可通过其头、臂和手的动作打一些简单的手势。Kobayashi<sup>[8]</sup>等人研制的机器人头部具有 24 个自由度,通过对 18 个控制点进行位置控制可表示出“抬眼皮”“眯眼睛”“出酒窝”等 24 种基本面部动作,以及喜、怒、哀、惊、憎、怕计 6 种基本面部表情。利用以上手势动作和面部表情,机器人可向人或其它机器人直观地传达一些信息。然而,机器人要理解人或其它机器人的手势动作和面部表情的含意,就需要利用计算机视觉来实现了。

利用计算机视觉,Frusawa<sup>[9]</sup>对人用手掌表示的“招手”、“停止”等 5 种手势进行了识别;Oka<sup>[10]</sup>对人用手臂表示的“不对”、“再见”等 7 种手势动作进行了识别。Kobayashi<sup>[11]</sup>利用计算机视觉和神经网络技术识别了人的 6 种基本面部表情。

Hashimoto 等人<sup>[12]</sup>研制的音乐指挥机器人,可对从异地传送来的音乐指挥者的指挥手势进行识别和理解,并转变成自己的指挥动作。

为了简化对机器人的教导工作,Ikeuchi<sup>[13]</sup>将需机器人做的工作先由人手来演示一遍,然后利用计算机视觉对人手的一连串教导行为进行动作分解和意图理解,随后由计算机自动完成机器人操作的编程工作。

Kimura<sup>[14]</sup>通过由 2 台 6 腿机器人组成的实验系统,研究了利用计算机视觉进行机器人之间的行为理解问题。这两台机器人中,一台是可在人的直接控制下而动作的机器人,另一台是具有计算机视觉且能自主动作的机器人。设有一个箱子需两台机器人协调搬运,但研究者不是分别控制这两台机器人来完成此工作,而是只控制其中的一台走近箱子,并让这台机器人用两条前腿去试图搬箱子。当这台机器人的动作被另一台具有计算机视觉的机器人见到后,后一台机器人就理解了前一台机器人的行为意图,从而走近箱子,伸出前腿帮前一台机器人共同将箱子抬走。在以上过程中,由于研究者只控制一台机器人便完成了两台机器人共同进行的工作,所以简化了人的控制操作。

除了以上研究领域外,以前许多传统的理应由人进行的工作也有望通过计算机视觉的行为理解功能来完成。例如,对医生来说最重要工作是为患者进行诊断和治疗,但写病历却是目前医生必不可少的工作,它占去了医生不少的时间,降低了诊疗效率。随着医疗手段的逐步提高和诊疗工作的不断细分,需要记录保存的有关患者的诊疗信息将越来越多,成为医生和患者越来越重的负担。为了减轻这方面的负担,Eguchi 等人<sup>[15]</sup>以耳鼻喉科为例,利用计算机视觉对医生为患者耳、鼻、喉上药的诊疗行为进行了分析和理解,并自动在计算机中形成电子病历。Eguchi 认为,如果配合使用声音理解装置和内装力学传感器的医疗器具,会使自动做成的电子病历的内容更为丰富和实用。

## 4 结 语

如同视觉给人类提供了 70% 以上的所需信息、为人类的正常生活和工作提供了必要保障一样,计算机视觉对智能机器人来说也是至关重要的,日益引起研究者的广泛关注。从总体上讲,目前的智能机器人所具有的智能还不能与人的智能相提并论,若使球类机器人能象运动员那样打球,还有许多工作需要做;关于人与机器人之间视觉行为理解的研究也只是刚起步。但随着科技的日益进步,各个相关学

科的紧密配合,相信会不断涌现出新的研究成果。本文工作得到了天津市自然科学基金的资助。

### 参考文献

- 1 Shimauchi K et al. Development of a hockey—robot using real—time vision, Proceedings of the 13th annual conference of RSJ. ■, Kawasaki, 1995:1137—1138.
- 2 Tasuno K et al. A robot system that plays beach volleyball with a human, Proceedings of the 15th annual conference of RSJ. ■, Tokyo, 1997:765—766.
- 3 Qi Bingchen, Yoshikuni Okawa. An intelligent mobile robot for billiards, billiards, Proceedings of the 15th annual conference of RSJ. II, 1997:627—630.
- 4 Sato T et al. Active understanding of human intention by a robot through monitoring of human behavior, Journal of the robotics society of Japan, 1995,13(4):97—104.
- 5 Inoue H. Inter-university research program on intelligent robotics, Journal of the society of instrument and control engineers, 1996,35(4):237—242.
- 6 Sato T Human machine cooperative system, Journal of the society of instrument and control engineers, 1996,35(4):262—267.
- 7 Sugano S, Shibuya K. Anthropomorphic robots for nonverbal communication, Journal of the robotics society of Japan, 1997,15(7):975—978.
- 8 H. Kobayashi. et al. Study on face robot for active human interface, Journal of the robotics society of Japan, 1994,12(1):155—163.
- 9 Frusawa I et al. Gesture recognition of moving hand using range images, Proceedings of the 15th annual conference of RSJ. I, Tokyo, 1997:399—400.
- 10 Oka R et al. Real—time spotting recognition of human motions from timevarying images, Journal of the robotics society of Japan, 1995,13(5):603—606.
- 11 Kobayashi H et al. Real-time recognition of 6 basic facial expressions, Journal of the robotics society of Japan, 1996,14(7):994—1002.
- 12 Hashimoto S et al. WABIAN: Bipedal humanoid robot as a platform robot, Proceedings of the 15th annual conference of RSJ. ■, Tokyo, 1997:763—764.
- 13 Ikeuchi K, Kang S B. Programming grasping tasks by human demonstration, Journal of the robotics society of Japan, 1995,13(5):599—602.
- 14 Kimura H, Kajjura G. Motion recognition based cooperation between human operating robot and autonomous assistant robot, Journal of the robotics society of Japan, 1997,15(4):624—633.
- 15 Eguchi I. et al. Visual behavior understanding as a core function of computerized description of medical care, Journal of the robotics society of Japan, 1997,15(5):766—772.



齐丙辰 天津师范大学计算机科学系副研究员,天津师范大学移动机器人研究开发中心副主任。1988~1992年及1996~1998年在日本大阪大学和椿本集团公司研究开发中心从事机器人研究,日本机器人学会会员。目前主要研究领域为移动机器人和计算机视觉。



大川善邦 日本大学教授。1985~1998年为日本大阪大学教授,IEEE Computer Society, AAAI, ACM,日本机器人学会等会员。目前主要研究领域为智能机器人、计算机视觉和并行处理计算机。

## Application and Development of Computer Vision in Ball Game Robots and Behavior Understanding

Qi Bingchen

Okawa Yoshikuni

(Tianjin Normal University, Tianjin 300074)

(Nihon University)

**Abstract** As one of the most interesting research areas in robots, intelligent robots have been used in the manufacturing field and expanded gradually to the others. This paper introduced the outline of computer vision applications in intelligent robots, indicated by several new ball game robots developed in the world. In addition, the research in visual behavior understanding between person and robot, newly development in the field of computer vision and intelligent robots, was also introduced in this paper.

**Keywords** Computer vision, Intelligent robot, Ball games, Visual behavior understanding