

文章编号: 1002-0446(2001)05-0471-05

光电混合处理系统在机器人视觉目标识别中的应用研究*

余 杨 黄惟一

(东南大学仪器科学与工程系 南京 210096)

摘 要: 分析了光电混合处理系统应用于机器人视觉识别的可行性和研究意义, 评述了光电混合处理系统在光学模式识别和机器人视觉识别领域中的研究现状. 提出将 JTC 系统在机器人视觉识别中的应用划分为五个研究层次, 分析综述了与各类研究层次相关的形态学 JTC 和三维 JTC 的代表性算法及 JTC 硬件结构, 以此作为机器人视觉识别光电混合处理系统的研究基础.

关键词: 机器人视觉; 光学模式识别; 数学形态学; 联合变换相关器

中图分类号: TP24 **文献标识码:** B

APPLIED STUDY OF OPTO-ELECTRONIC HYBRID SYSTEM FOR ROBOT VISION TARGET RECOGNITION

YU Yang HUANG Weiyi

(Instrument Science & Engineering Department, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract: Feasibility and research significance of opto-electronic hybrid system used in robot vision recognition area are analyzed. Research situation towards opto-electronic hybrid system is appraised in optical pattern recognition area and robot vision area. Applied reasearch on JTC system for robot vision recognition is put forward to be separated into five research fields. JTC hardware structure and representative algorithm of morphological JTC, 3-D JTC are analyzed and summarized, which are related to five research fields and can be used as research foundation for robot vision opto-electronic hybrid system.

Keywords: robot vision, optical pattern recognition, mathematical morphology, joint transform correlator

1 引言(Introduction)

光电混合处理系统在机器人视觉目标识别中的应用, 既要遵循普通光电混合处理系统的共同规律, 又要考虑到机器人视觉应用领域的特殊需要, 因此其可行性、研究现状、研究层次; 以及如何从普通光电混合处理的大量研究中选取、改进、创新适合于机器人视觉识别的硬件结构和软件算法等问题值得深入研究, 本文对此进行探讨.

2 光电混合处理系统应用于机器人视觉识别的可行性及其研究意义 (Feasibility and research significance of opto-electronic hybrid system in robot vision recognition area)

机器人视觉领域已有许多已经实用或接近实用

的基于电子计算的视觉系统, 在着眼于工程实现的同时, 机器人视觉领域也在深入开展一些着眼于未来的研究, 不断探索新型图像处理器成为人们努力的方向. 其中光电混合处理系统既具有数字处理器的灵活性和准确性, 又具有光学处理器的并行性、直接性、速度快、容量大等特点, 随着光电器件价格不断下降, 理论上可以满足机器人视觉系统价格低廉和高计算速度的要求, 在机器人视觉中具有重要应用价值. 其可行性在于国外已有将小型化光电混合处理系统安装于导弹头部的报道^[1], 这种军事应用的技术难度显然超过机器人视觉应用的技术难度. 另外, 光电混合处理的工业视觉应用也时有报道^[1,2], 但尚缺乏深入的系统的研究. 这种新型图像处理器目前国内仍以实验室研究为主, 成熟的实用系统还

有许多有关光计算的理论和实践问题需要解决,

对于人类视觉来说, 识别和理解周围景物是一件容易的事, 但对机器人来说, 却是一件很困难的事^[3]. 主要表现在以下几个方面: (1) 图像多义性、知识引导多义性及实时计算问题. (2) 环境因素影响问题. (3) 大量甚至巨量图像信息的存储问题. 采用光电混合处理系统利用光计算并行性的特点提高微机的实时计算能力; 采用适当的照明技术, 以得到易于处理的图像; 采用光全息存储、光盘存储技术存储大量参考图像以增强微机的图像存储能力等都是光电混合处理系统在机器人视觉识别中具有生命力的原因.

机器人视觉所要识别的对象一般是简单机械零件, 复杂机械零件, 重叠机械零件等. 有一些采用电子计算使用基于特征的识别方法就够用了, 如 Agin 等研制的“Vision Module”系统^[4], 仅使用外形特征就可识别简单零件, 但当零件种类增多, 而且形状变得复杂时, 只凭外形特征不能进行准确的分类, 这时要借助表面特征识别, 从而使特征提取和算法都复杂起来, 可见随着形状类似、形状复杂零件的增多, 用电子计算特征识别的方法是困难的、间接的、费时的. 从理论上讲, JTC 采用相关模式匹配方法, 是基于对图像形状信息的直接比较, 已在人脸识别、指纹识别方面得到应用^[5,1], 表明它不仅具有对复杂零件外形特征的直接识别能力, 还具有表面特征的直接识别能力, 因而, 采用 JTC 方法进行图像识别是并行的、直接的、快速的. 光电混合处理系统与计算机目标识别关键不同在于利用光电混合处理系统光计算平台代替计算机做大计算量的图像匹配工作. 当然实践中光计算相对电子计算是处于发展中的新技术, 有许多技术问题有待解决.

采用光电混合处理系统进行机器人视觉目标识别更深层次的研究意义在于探索光计算、光全息技术在机器人视觉中对图像进行采集、处理、存储、显示方面的潜在能力和应用价值, 其研究前景在于人们对光计算机的期望.

3 光电混合处理系统在光学模式识别和机器人视觉中的研究现状 (Research situation of opto-electronic hybrid system in optical pattern recognition area and robot vision area)

一般所说的机器人视觉, 大多数指与机器人配合操作的工业视觉系统^[4], 本文以此作为机器人视觉

的定义. 实际上, 工业视觉系统的研制和应用过程是计算机视觉研究在工业上赖以发展的实践基础. 视觉系统在工业应用中的尝试, 从 70 年代初期就开始了, 实用的工业视觉系统需要满足工业应用所要求的几个条件, (1) 价格低廉. (2) 安排易于处理的环境. (3) 提高实时性. (4) 提高可靠性. (5) 提高通用性.

机器人视觉是获取信息的重要途径. 在生产线上工业视觉系统中, 在机器人装配系统中, 在机器人手眼系统中, 在视觉与力觉、触觉、临场感的配合操作过程中, 在机器人制导系统中, 机器人视觉具有广泛的实用背景.

从机器人学科看, 国内机器人视觉识别系统采用的几乎都是电子计算的方法, 光计算在机器人学科中的应用明显不足, 几乎难以看到相应的研究文章. 而基于电子计算的机器人视觉识别系统, 由于工业应用中高计算速度和低成本的限制, 使得普通图像处理中的许多算法, 只有一部分才能得到使用, 从而使电子计算能力受到限制. 国外用光电混合处理系统进行机器人视觉目标识别和视觉图像存储的研究实例时有报道^[1,2], 表明该领域具有研究价值和实用价值, 但深入的系统的研究仍显不足. 光子的高度并行性和互连性的特点决定了光电混合处理系统在机器人视觉图像识别方面常可填补电子学的不足或解决电子学无法解决的问题. 从光学学科看, 在光学信息处理的研究中, 用于图像识别的光电混合处理系统主要有: 非相干光学系统, 相干光学系统. 一般认为相干光学系统能完成许多更为复杂的信息处理运算, 其中联合变换相关器(JTC)易于调整并且避免了匹配滤波器的综合, 近年来较 Vander Lugt 相关器得到更广泛的重视和研究, 本文主要研究 JTC 光电混合处理系统. 在 JTC 的大量研究中, 形态学算法 JTC 是国内最新的系统, 在国外也属较新的系统; 三维 JTC 国内尚未见报道, 在国外属于最新系统.

据此, 用基于光计算的 JTC 光电混合处理系统解决机器人视觉问题, 我们认为基于形态学算法的 JTC 和三维 JTC 是值得重视的. 形态学算法在模式识别方面更有效, 是因为它更好地把握了景物的几何特点^[6], 且可用于探讨更具通用性的灰度图像识别问题^[7], 而在机器人所要识别的对象中, 几何特点常常就能决定能否识别, 且灰度图像识别技术的引入使机器人视觉更具通用性, 因此, 形态学 JTC 是机器人二维图像识别应当重视的方法; 同时机器人视觉识别最终目标是三维识别, 因而多方法的三维 JTC

的研究意义是不言而喻的。

基于形态学 JTC 和三维 JTC 能满足机器人视觉的上述特殊需要, 因此本文将重点综述形态学 JTC 和三维 JTC 的代表性算法, 为 JTC 在机器人视觉识别中的应用提供基础。

4 用 JTC 光电混合处理系统解决机器人视觉识别问题 (Application research of JTC system in robot vision recognition area)

在光学模式识别中, 基于微机控制的可编程 JTC 已研究了十余年, 从硬件改进、算法改进、功能改进等方面发展了多种多样的 JTC^[1,8], 为了从 JTC 的大量研究中选取、改进、创新适合于机器人视觉识别的 JTC, 本文提出将 JTC 在机器人视觉识别中的应用划分为五个研究层次:

4.1 机器人视觉识别的 JTC 硬件实现研究层次

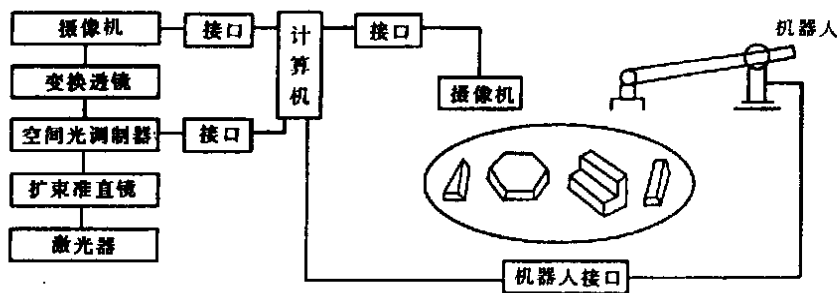


图 1 机器人视觉目标识别光电混合处理系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the optoelectronic hybrid system for robot vision target recognition

4.2 机器人视觉预处理问题的 JTC 实现研究层次

在机器人视觉中, 有两种基本预处理方法^[9], 第一种是基于空间域技术的方法, 第二种是基于付氏变换的频率域技术的方法, 由于需要的计算量较大, 在机器人视觉系统中频率域方法远不如空间域方法使用得普遍, 但如果使用 JTC 平台, 就可以光速计算二维付里叶变换, 从而为在机器人视觉中使用频率域技术的预处理方法提供有力的光计算工具。

除使用 JTC 实现频率域预处理外, 一种使用 JTC 进行形态学预处理的方法正处于计算机模拟阶段^[10], 它将形态学滤波和 JTC 技术相结合, 通过使用 JTC 实现形态学预处理去噪来改善 JTC 识别性能。形态学操作能够用 JTC 结构实时实现, 这是因为形态学能够定义成相关取阈操作, 膨胀和腐蚀是两

各类 JTC 硬件平台有几十种之多^[8], 如何选用、改进、创新适用于机器人视觉识别的 JTC 硬件结构是该层次研究的主要问题。根据上文机器人视觉系统工业应用所要满足的几个条件, 本文认为 JTC 硬件结构取舍的原则应当是: 低成本、高计算速度、体积不宜太大、器件易于购买最好已商品化、结构简单可靠性好。据此对大量 JTC 硬件结构进行选型分析, 推荐一种具有回旋结构的 JTC^[8]。该 JTC 选用液晶电视为空间光调制器(SLM)作为输入面, 并用 CCD 作为平方探测器件记录输入信号的联合变换功率谱, 探测到的图形再通过 SLM 显示出来, 并用 CCD 探测相关输出。该硬件结构具有价格低廉, 结构紧凑, 直观体现 JTC 基本原理的特点, 可为今后探索创新更适用于机器人视觉的 JTC 硬件结构提供基础。该 JTC 硬件结构应用于机器人视觉目标识别示意图如图 1 所示。

种最基本的形态学运算, 由其派生的开、闭运算等均可表达成相关取阈操作作用 JTC 实现, 换句话说, JTC 提供了一种形态学滤波硬件实现结构, 而形态学滤波为 JTC 提供了一种图像预处理方法。

可见, 针对机器人视觉预处理问题, 采用 JTC 实现频率域预处理、形态学预处理是对计算机预处理能力的增强和扩展, 具有研究价值。

4.3 机器人视觉二值图像识别问题的 JTC 实现研究层次

在多数机器人视觉系统中, 使用二值图像处理即可达到识别要求。近年来, 形态学的击中击不中变换(HMT)应用于提高 JTC 的二值图像识别能力和抗畸变能力取得明显效果。该方法与普通的相关匹配目标识别相比, 由于要求图像的前景与背景同时

匹配,从而有效地提高了识别能力.相关模式识别是基于比较形状信息,而形态学操作是基于将图像中的形状与结构核的形状相比较,因而两者在识别机理上存在某种联系,数学形态学的相关器实现成为人们感兴趣的研究.在各种形态学操作中,形态学击中击中不中运算是很好的模式匹配滤波器,被广泛用于二值图像识别中,根据击中击不中的定义,其基本算法是将图像与前景结构核进行腐蚀,图像的补与背景结构核进行腐蚀,然后再将两次腐蚀进行交运算.因此,击中击不中变换一般需要二次蚀操作和一次交操作三步完成.这就意味着需要分别使用图像和图像的补,因而击中击不中的光学实现就要比膨胀和腐蚀的光学实现复杂.在光学形态学处理中,蚀操作可用光学相关实现,因此,击中击不中变换可表达为相关取阈操作.为简化运算步骤,提出过多种方法以一步实现击中击不中变换^[11].

可见,为解决机器人视觉二值图像识别问题,具有一定抗多种畸变能力的击中击不中变换一步实现 JTC 值得进一步研究.

4.4 机器人视觉灰度图像识别的 JTC 实现研究层次

在机器人视觉系统中,许多情况可用二值图像识别,但灰度图像识别具有通用性,对于那些不能取得良好反差,因而也不便于使用二值图像系统的情况,灰度视觉系统也可发挥作用.

最近,一种非线性相关技术,称为形态学相关(MC)引入模式识别^[12,71],其基本算法是首先取阈分解灰度输入图像和灰度参考图像成为许多二值图像片,接着在输入和参考取阈图像片之间进行相关运算,最后求和所有的结果相关输出,以获得形态学相关.实际运算中,首先计算每对二值图像片的联合变换功率谱,然后求和这些功率谱,最后进行付里叶变换以产生 MC.事实上,与传统线性相关(LC)相比,MC 能在类似模式之间提供更高的鉴别能力,然而,该算法需要大量的计算才能获得最终结果.由于大多数光学系统仅能实现二值形态学操作,灰度形态学操作需要首先分解成一系列二值形态学操作,其结果的综合给出灰度形态学结果,因此以上算法对解决灰度问题具有代表性.

可见,为解决机器人视觉灰度图像识别问题,研究将灰度图像识别转化为二值图像识别的方法,优化灰度图像分解算法,减少灰度综合的计算量,是值得探索的问题.

4.5 机器人视觉三维图像识别问题的 JTC 实现研究层次

景物的照明往往是影响算法复杂性的重要因素,机器人视觉中利用结构光照明进行视觉识别已报道许多实用的系统,这种照明方法有两个主要优点^[9]:1)、它在工作空间形成了一个已知的光模式,模式发生变化表明存在一个物体,从而简化了物体检测问题;2)、通过光模式发生畸变的情况可以了解物体的三维特性.可见借助普通二维 JTC 平台,将机器人视觉中常用的结构光方法应用于 JTC 目标识别,可以识别三维物体.

三维光学相关器为直接、快速处理 3-D 图像提供了可能,与 2-D 相关器的快速和并行方式相类似,3-D 空间中的目标能由 3-D 光学相关器识别和跟踪.

一种进行 3-D 光学相关的方法已由 Bam ler and H ofe r-A lfe is 提出^[13],其基本算法是,3-D 观测景物与参考物体首先并排映象到 2-D 面,随后,进行传统的 2-D 光学相关,然而,观测景物的 3-D 分布对于数字计算系统而言必须是先验知识,先于向 2-D 面的映象阶段,换句话说,在任何相关运算前,景物必须用进一步的数字算法处理以在计算机内存中重建 3-D 图像.这种方法与电子计算采用的三维识别方法非常类似,都是基于重建三维图像,然后在二维投影的基础上进行识别.光学处理的优点—直接性和高处理速度,在这种方案中消失.

最近, Rosen 提出一种有代表性的 3D-JTC^[14],他用实际三维参考物体替代了用计算机重建 3D 图像,并在二维投影的基础上进行识别,使光计算优越性得到发挥.这种 3-D 相关实质上是基于 2-D JTC 的 3-D 扩展.其基本算法是,参考物体和待测物体从某一距离观测面进行观察.数台 CCD 相机分布在此观测面,从各个观测点记录 3-D 输入景物的 2-D 投影, JTC 结构的相关处理包括一系列联合应用于参考物体和待测物体的光学 2-D 付里叶变换,随后, 2-D 付里叶变换的累加强度分布映象到 3-D 谱空间,最后,通过另一次 3-D 付里叶变换获得相关输出. 3-D 相关使得人们不仅从常规 2-D 模式而且从深度模式识别目标.但 3-D JTC 的研究才刚刚开始.可见,为解决机器人视觉三维图像识别问题,进一步探讨基于 JTC 平台的三维计算理论,研究将三维 JTC 问题转化为二维 JTC 问题的算法,同时研究三维物体的观测方向和所需 CCD 数量,以及探讨形态学算法的应用等都是值得研究的问题.

5 结论(Conclusion)

1) JTC 光电混合处理系统实质上可以看作是经 JTC 光计算功能扩充的计算机系统, 将其应用于机器人视觉识别, 可以将计算机的图像处理能力和 JTC 基于光计算的图像匹配能力优势互补, 无疑较传统的基于电子计算的机器人视觉识别系统有更强的功能. 当然, 光计算是处在发展中的新技术, 还有许多理论和实践问题值得探索.

2) 由于机器人 JTC 系统是普通 JTC 系统在机器人领域中的应用特例, 本文提出的普通 JTC 系统应用于机器人视觉识别的五个研究层次, 为 JTC 系统在机器人视觉识别中的应用构建了研究框架. 基于形态学 JTC 和三维 JTC 属于 JTC 最新系统, 且能满足机器人视觉识别的一些特殊需要, 因此本文分析综述的与各研究层次相关的形态学 JTC 和三维 JTC 的代表性算法及 JTC 硬件结构, 可以作为机器人视觉识别光电混合处理系统的研究基础. 在本文的基础上, 今后的工作期望研制出满足机器人实用需要的 JTC.

工业机器人的使用环境比军事应用简单一些, 旋转不变图像识别一般就够用了. 上文仅涉及形态学 JTC、三维 JTC 的最新基本算法, 系统进一步的抗畸变能力, 尤其是工业机器人应用中至关重要的旋转不变图像识别, 还有待将传统旋转不变算法^[15,16]与上文最新 JTC 识别理论相结合, 以完善系统功能.

以上研究将为进行机器人视觉识别光电混合处理系统的仿真和实验提供基础.

参考文献 (References)

- 1 宋菲君, S. Jutamulia. 近代光学信息处理. 北京大学出版社, 1998
- 2 陶世荃, 王大勇, 江竹青等. 光全息存储. 北京工业大学出版社, 1998
- 3 贾云得. 机器视觉. 科学出版社, 2000
- 4 周远清, 张再兴等. 智能机器人系统. 清华大学出版社, 1989
- 5 成罡, 金国藩, 郭敏贤等. 用联合变换相关器实现灰阶图像绝对差度量光学匹配. 光学学报, 1999, 19(9): 1236- 1243
- 6 崔屹. 数学形态学方法及应用. 科学出版社, 2000
- 7 Zhang S, Karim M A. Illumination-invariant Pattern Recognition with Joint-transform-correlator-based Morphological Correlation. Appl. Opt., 1999, 38(35): 7228- 7237
- 8 [美] 杨振寰, 陈树源. 光学信号处理、计算和神经网络. 新时代出版社, 1997
- 9 付京逊等. 机器人学 控制、传感技术、视觉、智能. 中国科学技术出版社, 1989
- 10 Zhang S, Karim M A. Morphologically Preprocessed Joint Transform Correlation. Appl. Opt., 1999, 38(11): 2182- 2188
- 11 成罡, 金国藩, 郭敏贤等. 基于模糊逻辑的抗畸变光学模式识别. 中国激光, 1999, 26(8): 721- 727
- 12 Martinez P G, Ferreira C, Garcia J. Nonlinear Rotation-invariant Pattern Recognition by Use of the Optical Morphological Correlation. Appl. Opt., 2000, 39(5): 776- 781
- 13 Karasik Y. Evaluation of Three-dimensional Convolutions by Two-dimensional Filtering. Appl. Opt., 1997, 36: 7397- 7401
- 14 Rosen J. Three-dimensional Joint Transform Correlator. Appl. Opt., 1998, 37(32): 7538- 7544
- 15 Yu F T S, Li X Y, Tam E. Rotation Invariant Pattern Recognition with a Programmable Joint Transform Correlator. Appl. Opt., 1989, 28(22): 4725- 4727
- 16 Jutamulia S, Asakura T. Rotation-invariant Joint Transform Correlator. Appl. Opt., 1994, 33: 5440- 5442

作者简介:

余 杨 (1966-), 男, 博士研究生, 研究领域: 测控技术及智能系统, 机器人视觉.

(上接第 425 页)

参考文献 (References)

- 1 Nicholas R. Jennings, Katia Sycara, Michael Wooldridge. A Roadmap of Agent Research and Development. In: Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1998, 1, 7, 38
- 2 Burt Wilsker. A Study of Multi-Agent Collaboration Theories. Information Science Institute research report# ISI/RR- 96- 449, November, 1996
- 3 Paredis J. Coevolutionary Computation. Artificial Life, 1995, 2(4): 355- 375
- 4 Mitchell A Potter. The Design and Analysis of a Computational Model of Cooperative Coevolution. PhD thesis, George Mason University, 1997
- 5 Daley, B, Schultz A, Grefenstette J. Co-evolution of Robot Behaviors. SPIE International Symposium on intelligent Systems and Advanced Manufacturing (ISAM '99), 19 - 22 Sept, 1999, Boston MA, 1999
- 6 David McFadzean. SimBioSys: A Class Framework for Biological

Simulations. Master Thesis. The University of Calgary, 1994

- 7 Wooldridge M. Agent-based software engineering. IEE Proc. On Software Engineering, 144(1): 26- 37
- 8 薛宏涛, 冯庆堂, 沈林成, 常文森. 多 Agent 系统的一个研究平台: 基于 SoccerServer 的机器人足球赛仿真系统. 计算机应用研究, 1999, 4
- 9 薛宏涛, 沈林成, 常文森. PTS 领域中的 Agent 体系结构设计与实践. 计算机工程与应用, 2000, 7
- 10 薛宏涛, 叶媛媛, 沈林成, 常文森. 多智能体系结构及协调机制研究综述. 机器人, 已录用

作者简介:

薛宏涛 (1973-), 男, 博士研究生. 研究领域: 多智能体系系统, 多机器人系统, 协进化.

沈林成 (1965-), 男, 博士, 教授. 研究领域: 导航与规划, 智能控制, 分布式人工智能.

朱华勇 (1971-), 男, 博士. 研究领域: 智能规划, 多智能体系系统, 分布式控制系统.