

# 多传感器信息融合技术及其在机器人中的应用

孙 华<sup>1</sup>, 陈俊凤<sup>2</sup>, 吴 林<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 哈尔滨理工大学, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘 要:** 多传感器信息融合技术是近年发展起来的一门新兴技术, 在机器人领域有着广阔的应用前景。通过融合多个传感器提供的冗余、互补或更实时的信息, 可以获得系统所需的更准确和更精确的信息。主要论述了多传感器信息融合的一般方法, 并对其在机器人领域的应用进行了介绍。最后指出多传感器信息融合技术在微传感器、智能传感器和自适应融合等方面的发展方向。

**关键词:** 多传感器; 信息融合; 机器人

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1000-9787(2003)09-0001-04

## Multisensor information fusion and its application to the robot

SUN Hua<sup>1</sup>, CHEN Jun-feng<sup>2</sup>, WU Lin<sup>1</sup>

(1. The State Key Lab of Advanced Welding Production Techn, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

**Abstract:** Multisensor information fusion is a new technique developed in recent years. It is widely applied to robot. The advantages gained through the use of redundant, complementary, or more timely information in a system can provide more reliable and accurate information. The methods of information fusion are discussed and its application to the robot is introduced. Finally, future research directions of multisensor fusion technology including microsensors, smart sensors, and adaptive fusion techniques are presented.

**Key words:** multisensor; information fusion; robot

### 0 引言

多传感器信息融合技术是近年来十分热门的研究课题, 它结合了控制理论、信号处理、人工智能、概率和统计的发展, 为机器人在各种复杂的、动态的、不确定或未知的环境中工作提供了一种技术解决途径。多传感器信息融合是指综合来自多个传感器的感知数据, 以产生更可靠、更准确或更精确的信息。经过融合的多传感器系统能完善地、精确地反映检测对象特性, 消除信息的不确定性, 提高传感器的可靠性。经过融合的多传感器信息具有以下特性: 信息的冗余性、信息的互补性、信息的实时性和信息的低成本性。

本文较为全面地介绍了多传感器信息融合技术的方法及其在机器人领域的应用, 并给出了将来的发展方向。

### 1 多传感器信息融合的一般方法

信息融合的方法是多传感器信息融合的最重要的部分, 由于其应用上的复杂性和多样性, 决定了信息融合的研究内容极其丰富, 涉及的基础理论较多。多传感器信息融合算法可以分为以下四类: 估计方法、分类方法、推理方法和人工智能方法, 如图 1 所示。其中分类方法主要有参数模板法和聚类分析。无监督或自组织学习算法诸如学习向量量化法 (learning vector quantization, LVQ), K-均值聚类 (K-means clustering), Kohonen 特性图 (Kohonen feature map) 也常用作多传感器数据的分类。K-均值聚类算法是最常用的无监督学习算法之一, 而自适应 K-均值方法的更新规则形成了 Kohonen 特性图的基础。此外自适应共振理论 (ART)、自适应共振理论映射 (ARTMAP) 和模糊自适应共振理论网络 (fuzzy-ART network) 以自适应的方法进行

传感器融合。它们能够自动调整权值并且能在环境变化和输入漂移的情况下保持稳定。

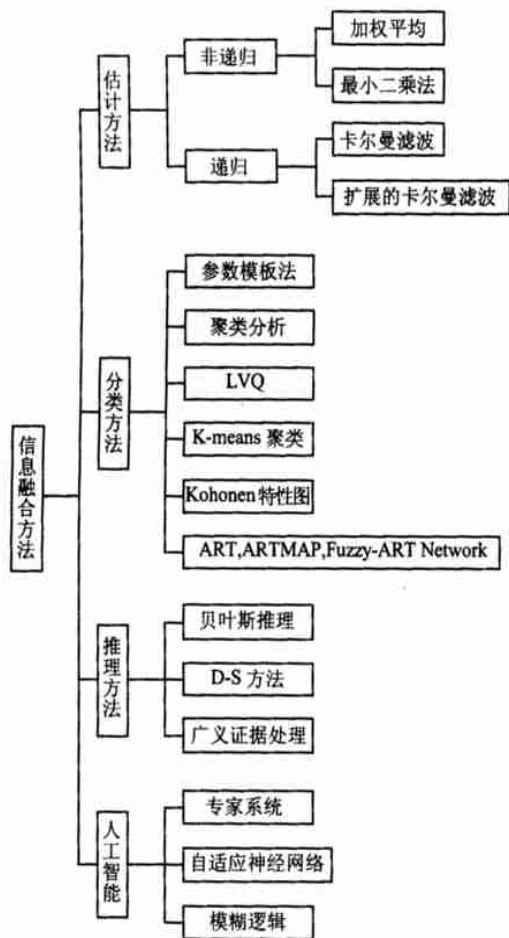


图 1 多传感器融合算法分类

Fig 1 Multisensor fusion algorithms classification

人工智能方法对融合大量的传感器信息, 用以非线性和不确定的场合颇有优势。可分为专家系统、神经网络和模糊逻辑。专家系统是一种基于人工智能的计算机信息系统。如文献[1]采用专家系统来处理安装在机械手上的触觉传感器信息。

神经网络是一个具有高度非线性的超大规模连续时间自适应信息处理系统。在多传感器系统中, 各信息源提供的环境信息都具有一定程度的不确定性, 对这些不确定信息的融合过程实质上是一个不确定性推理过程。神经网络可根据当前系统所接受的样本的相似性, 确定分类标准。同时可以采用特定的学习算法来获取知识, 得到不确定性推理机制。如 Graf 和 Lalonde<sup>[2]</sup>曾经应用自组织网络传感器动力图来控制一个由两个照相机和一个操作手组成的手眼系统, 通过神经网络的学习来判断环境中障碍物, 并实现避障运动。

模糊逻辑是多值逻辑, 它允许将传感器信息融合过程中的不确定性直接表示在推理过程中。由于

模糊集表达了一个不确定概念, 应用模糊理论并结合其它手段, 如神经网络, 可以取得更好的融合结果。如南安普顿大学的 ISIS 小组<sup>[3]</sup>就是把模糊理论和神经网络融合在一起, 提出了一种模糊神经网络, 应用在自主导航系统和直升机自动避障系统中。

## 2 多传感器在机器人中的应用

机器人是一门涉及技术领域非常广泛的学科, 其中传感器和控制技术是核心的技术, 绝大部分机器人应用中都可以看到传感器的存在。因此, 多传感器信息融合技术在机器人领域有着广阔的应用前景。而最突出的, 应该是很多研究机构为了探讨多传感器数据融合的一般规律而在实验室设计的各种可移动机器人或各种环境下的自动驾驶装置<sup>[4]</sup>。表 1 给出一些应用多传感器的机器人的实例。

HILARE 是第一个应用多传感器信息来创建世界模型的可移动机器人<sup>[5]</sup>, 它充分利用视觉、听觉、激光测距传感器所获得的信息, 以确保其能稳定地工作在未知环境中。听觉和视觉传感器用来产生一个被层次化坐标所分割的图, 视觉和激光测距传感器用来感知环境中的三维区域格, 并通过约束来提出无关的特征。每个传感器的不确定性分析首先假设为高斯分布, 一旦所有传感器有相近的标准差, 那么, 这些值就被加权平均并融合为对目标一个顶角的估计, 否则, 有最小标准差的值被采用。

RANGER 是卡内基·梅隆大学机器人所在 20 世纪 90 年代中期研究的一种可移动机器人<sup>[6]</sup>。该系统包括一个状态空间控制器、一个基于卡尔曼滤波的导航中心和一个自适应感知中心。RANGER 以一个全新的视角来看待高速自主以及安全性问题, 认为安全性需要可靠的模型来保证。一幅图像的意义仅仅在于图像处理过程, 而不是明确的模型, 尤其在比较粗糙的地域里, 图像之间的变化很大, 计算起来很复杂, 因此需要通过融合各种传感器获得的信息来确保模型的可靠性。

LIAS 是美国德莱克西尔大学研究的具有多个传感器模块的移动机器人<sup>[7]</sup>。该机器人装有三个不同的感觉传感系统: 14 个标准的偏振超声波传感器安置在四周; 一个特殊的“三听觉”传感器被放置在前方向前进方向进行更好的观察; 一个红外视觉扫描仪安放在机器人突出的平台上, 提供完整的全景信息。LIAS 引入超声传感器来测量往返距离, 这些传感器的有效性受一些因素制约, 如传播速度的变化, 反射脉冲到达时间的不确定性, 定时电路的不精确等等。为了弥补这些不足, LIAS 使用红外传感

器来增强超声测量。与超声传感器相比, 红外测距的准确度不高, 但红外传感器可以在短时间内提供大量测量数据, 易于安装在扫描仪上以获得全景图像, 而且它的波束极窄, 与超声传感器固有的锥形波相比, 更有优势。来自两类不同的传感器信息的融合可以潜在地提供关于机器人周围的精确图景, 比任何一种单独的应用效果要好的多。另有一个附加

的“三听觉”超声传感系统, 它由三个间距 15 cm 的超声传感器排成一线, 中间的作为发射器和接收器, 两边的只作为接收器。通过三角测量, 可以一次探测不止一个目标: 提供距离信息, 测量被测物体相对于机器人的前进方向的角度和物体的一些特征。在这一研究中, 研究者们从不同的角度对通用的信息融合手段进行了实践。

表 1 基于多传感器的机器人范例

Tab 1 Selected examples of multisensor-based robot					
机器人	年代	传感器	执行环境	系统模式	融合手段
HILARE	1979	视觉, 声音 激光测距	未知人造环境	以多变形目标在图形中定位	加权平均
Crowley	1984	旋转超声, 触觉	已知人造环境	二维线段的连接顺序	可信度系数的匹配
DAPPA ALV	1985	彩色视觉, 声纳 激光测距	未知自然环境	Caitiesian elevation maps( CEM' s)	小范围内平均最高
NAVLAB & Teregator	1986	彩色视觉, 声纳 激光测距	未知公路环境	白板上的多令牌与贡献值对	多样可能性
Stanford	1987	半导体激光 触觉, 超声波	未知人造环境	层次化传感器度量与符号表示	卡尔曼滤波
HERMIES	1988	多摄像机 声纳阵列 激光测距	未知人造环境	节点网络图论	基于规则
RANGER	1994	半导体激光 触觉, 超声波	未知室外三维环境	自适应感知	雅可比张量与卡尔曼滤波
LIAS	1996	超声传感器 红外传感器	未知人造环境	分层结构	多种融合方法
Oxford Series	1997	摄像机, 声纳 激光测距	已知或未知的工厂环境	分布式滤波和局部智能控制代理	卡尔曼滤波
Alfred	1999	声音, 声纳 彩色摄像机	未知室内环境	模块结构和智能控制	逻辑推理
ANFM	2001	摄像机 红外探测器 超声波, GPS 惯性导航	已知或未知自然环境	远程控制	模糊逻辑和神经网络

ANFM 是瑞典于默奥大学于近期开发的野外自治导航车<sup>[8]</sup>。它以 iRobot 公司生产的 ATRV 系列导航车为基础, 安装了摄像机、红外探测器、GPS、惯性导航和超声波等传感器, 来实现其在未知野外环境中的定位和避障。由于全球定位系统( GPS) 作为定位工具准确度不高, 需要惯性导航系统作为其补充, 以满足该野外自治导航车全局定位的要求。采用超声波传感器、红外探测器和摄像机来精确测量障碍物离机器人的距离, 使机器人能有效安全地避障。超声传感器具有结构简单、体积小、成本低的

特点。该系统以多个超声传感器组成阵列的形式, 根据单个传感器扩散角及反射特性, 确定合理的密度以覆盖要求的探测区。超声传感器由于扩散角的原因, 测距的角度分辨力较低, 且其最大探测距离为 15 m, 最小盲区为 0. 3 到 0. 4m。而红外传感器探测特性与超声传感器恰好相反, 具有角度分辨力高的优点, 并且最大探测范围可以覆盖超声传感器的盲区。两者融合将形成互补信息。视觉传感器不但可以获得距离信息, 而且可以得到物体形状的信息, 与以上信息将形成冗余信息。该系统采用层次化结构

和远程控制的方案,主要的融合手段是模糊逻辑和神经网络<sup>[9]</sup>。

综上所述,多传感器信息融合技术在机器人领域取得了可喜的进展。如今,基于多传感器信息融合的机器人开始从工业向其它方向发展,如服务机器人和医学用途的机器人等。他们的出现得益于机器人智能的研究和传感器技术的发展。随着这些特种机器人的需求越来越高,其基于多传感器信息融合技术将得到更大的发展。

### 3 多传感器信息融合技术的发展方向

目前多传感器信息融合技术是一个十分活跃的研究领域,在这方面将来的发展方向有:多层次传感器融合、微传感器和智能传感器、自适应多传感器融合。

#### 3.1 多层次传感器融合

由于单个传感器具有不确定、观测失误和不完整性的弱点,因此单层数据融合限制了系统的能力和鲁棒性。对于要求具有高的鲁棒性和灵活性的先进系统,可以采用多层次传感器融合的方法。低层次融合方法可以融合多传感器数据;中间层次融合方法可以融合数据和特征,得到融合的特征或决策;高层次融合方法可以融合特征和决策,得到最终的决策。

#### 3.2 微传感器和智能传感器

传感器在人们的日常生活中起着重要的作用,它就像人的五官一样,是采集外部环境信息并处理信息的重要工具。传感器的性能、价格和可靠性是衡量传感器优劣与否的重要标志,然而许多有着优良性能的传感器由于其体积大而限制了它的应用市场。微电子技术的迅速发展使小型或微型传感器的制造成为可能。

智能传感器将主处理、硬件和软件集成在一起。如 Par Scientific 公司研制的 1000 系列数字式石英智能传感器。日本日立研究所研制的可以识别 4 种气体的嗅觉传感器。美国 Honeywell 公司研制的 DSTJ-3000 智能压差压力传感器是其中最为成功的,它在一块半导体基片上用离子注入法配置扩散了压差、静压和温度 3 个敏感元件,整个传感器还包括变换器、多路转换器、脉冲调制、微处理器和数字量输出接口等<sup>[10]</sup>。

#### 3.3 自适应多传感器融合

通常,多传感器融合需要感知环境的精确信息。然而,在实际世界中,不能得到关于感知环境的精确信息,并且传感器不可能确保一定正常工作。因此,对于各种各样不确定情况,鲁棒融合算法是十分必

要的。现已研究出一些自适应多传感器融合算法来处理由于传感器的不完善带来的不确定性。如 Hong 通过革新技术提出一种扩展的联合方法,该方法是能够估计单个测量序列滤波的最优卡尔曼增益<sup>[11]</sup>。Pacini 和 Kosko 也研究出一种可以在轻微环境噪声下应用的自适应目标跟踪模糊系统,它的处理过程中结合了卡尔曼滤波算法<sup>[12]</sup>。

### 4 结 论

近几十年来,多传感器信息融合技术得到了普遍的关注和广泛的应用,其理论与方法已成为智能信息处理的一个重要研究领域。本文概述了多传感器信息融合的一般方法。在此基础上,论述了信息融合技术在智能机器人上的应用并提出这一研究领域的发展方向。

#### 参考文献:

- [1] Fang J X, Talor H F, Choi H S. Fiber-optic fabry-perot flow sensor [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 1998, 18(3): 209 - 211.
- [2] Graf D H, Lalonde W R. Neuroplanners for hand/eye coordination [A]. Proc Int Conf Neural Networks[C]. Washington D C: IEEE, 1989. II-534- II-548.
- [3] Harris C J, Moore C G. Intelligent control: Aspect of fuzzy logic and neural networks[A]. World Scientific[C]. 73 Lynton Mead, London, N20- 8DH, 1993: 76- 87.
- [4] 李 磊,叶 涛,谭 民,等. 移动机器人技术研究现状与未来 [J]. 机器人, 2002, 24(5): 475- 480.
- [5] Bauzil G, Briot M, Ribes P. A navigation sub-system using ultrasonic sensors for the mobile robot Hilare[A]. 1st Int Conf on Robot Vision and Sensory Control[C]. Stanford-upon-Avon, UK, 1981: 47- 58.
- [6] Alonzo Kelly. Adaptive prediction for autonomous vehicles[R]. Technical Report, CMU-RT-TR-94-18, CS of CMU, 1994: 1 - 30.
- [7] Moshe Kam, XiaoXun Zhu, Paul Kalata. Sensor fusion for mobile robot navigation[J]. Proc of the IEEE, 1997, 85(1): 108- 119.
- [8] Thomas Hellström. Autonomous navigation for forest machines [R]. Technical Report, UMINF 02- 13 ISSN - 0348- 0542 Umeå University, 2002. 1- 60.
- [9] Hagrais H, Callaghan V, Colley M. Outdoor mobile robot learning and adaptation [J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2001, 8(3): 53- 69.
- [10] 王 祈,于 航. 传感器技术的新发展——智能传感器和多功能传感器[J]. 传感器技术, 1998, 17(1): 56- 58.
- [11] Reynolds R G. Robust estimation of covariance matrices[J]. IEEE Trans Automat Control, 1990, 35(9): 1047- 1051.
- [12] Pacini P J, Kosko B. Adaptive fuzzy systems for target tracking [J]. Intelligent Systems Engineering, 1992, 1(1): 3- 21.

#### 作者简介:

孙 华(1963-),女,黑龙江省哈尔滨市人,现为哈尔滨工业大学博士后。主要研究方向为机器人技术,传感器技术,智能控制。