

国际先进机器人技术计划(IARP) 第十七次联合协调讨论会报告译文集

SEVENTEENTH JOINT COORDINATING FORUM
INTERNATIONAL ADVANCED ROBOTICS PROGRAMME



国家高技术智能机器人信息网
中国科学院沈阳自动化研究所

1999 年 11 月

前 言

国际先进机器人技术计划第十七次联合协调讨论会 [Seventeenth Joint Coordinating Forum (JCF), International Advanced Robotics Programme (IARP)] 于1998年10月在日本东京召开, 出席讨论会的有来自中国、美国、日本、德国、法国、俄罗斯、意大利、澳大利亚、英国、新西兰等国从事机器人研究的科学家。我国国家863智能机器人主题专家组成员龚振邦教授和王田苗教授参加了这次会议并做了专题报告。

会议发表的论文和报告内容新颖, 涉及面广, 充分反映了世界机器人研究的现状、最新动向及前沿。考虑到这些资料对科研、教学及制订规划具有较大的参考价值, 中国科学院沈阳自动化研究所文献信息中心组织翻译了这些资料, 并汇编成集。

本译文集的编审是刘海波研究员, 武学民、王海昕同志完成了翻译、编辑、校对工作, 桂建军、程秀云同志参加了计算机排版及复印工作。

译者水平有限, 文集中难免存在错误和不妥之处, 敬请专家批评指正。

国家高技术智能机器人信息网

1999年11月于沈阳

目录

美国状况报告	1
法国先进机器人技术研究开发现状报告	9
1 现状及当前研究活动概述	9
1.1 引言	9
2 研发活动报告	10
2.1 国家规划	10
2.2 医用机器人	22
2.3 核工业机器人	23
2.4 海底机器人	26
2.5 现场机器人技术	28
德国状况报告	34
用于颌面外科手术的外科机器人系统	36
1. 引言	36
A. 挑战：颌面外科	36
B. 颌面外科中的机器人任务	37
2. 当前技术状况	37
3. Charité 的 SRL 手术室	38
4. 治疗规划与执行	39
5. 机器人的工具	40
6. 机器人的系统体系结构	40
A. 示教后的运动与交互	41
B. 近程治疗中植入刚性植入物	41
C. 整形术中骨固定器的植入	42
7. 实验	42
8. 结论	43
9. 致谢	43
10. 参考文献	44
服务机器人	44

力控制型六腿步行机器人.....	46
服务机器人/表面清洁机器人.....	47
用于检测通风管道的移动式服务机器人.....	49
借助力反馈操纵杆的机器人控制.....	50
箔材填充件抓握系统.....	51
铜铸件搬运系统.....	51
 意大利状况报告.....	 52
1. ASI 空间自动化与机器人学.....	52
1.1 ASI 空间 A&R 计划.....	52
1.2 ASI 空间 A&R 技术.....	53
1.3 应用计划.....	54
1.4 地面基础设施.....	56
2. 1997 年 ENEA 在非结构化环境用机器人学领域中的活动.....	57
2.1 南极洲研究计划中的机器人项目.....	57
2.2 用于机器人学的并行式超级计算.....	57
3. ACADEMIA.....	58
3.1 机器人控制系统.....	58
 日本状况报告.....	 60
1 介绍.....	60
2 总论——机器人产业.....	60
3 总论——科研组织.....	61
3.1 总趋势.....	61
3.2 最近机器人研究开发中的一些问题.....	61
4. 日本的典型机器人项目.....	62
4.1 人形机器人项目 (HRP).....	62
4.2 智能机器人.....	65
4.3 微型机器.....	66
4.4 医疗与福利.....	66
4.5 ETS VII 项目.....	66
 俄罗斯状况报告.....	 68

1 介绍.....	68
2 研究院所与大学的研究活动	68
3 国际合作.....	72
4. 一些研究开发主题成果	76
4.1 操作机器人及其控制.....	76
4.2 行走、爬壁、爬行与其它移动机器人及其控制	78
4.3 人一机器人接口	80
4.4 微型机器人学	81
4.5 在极恶劣条件下工作的机器人	82
英国先进机器人技术研究开发现状报告.....	87
1 前言	87
2 工业机器人技术	87
3 研究活动.....	87
澳大利亚先进机器人技术研究开发现状报告	90
1 国际活动.....	90
1.1 共同研究	90
1.2 国际组织	90
1.3 国际会议与研讨会	91
2 各研究小组的报告	91
2.1 澳大利亚国立大学	91
2.2 智能机器人技术研究中心（莫纳什大学）	91
2.3 西澳大利亚大学	92
2.4 澳大利亚现场机器人学中心（悉尼大学）	92
2.5 墨尔本大学	92
2.6 伍伦贡大学	93
2.7 南昆士兰大学（农业工程国家中心）	94
2.8 新南威尔士大学	94
2.9 CSIRO	95
新西兰先进机器人技术研究开发现状报告	96
1 引言	96

2 经济和政府	96
3 研究环境	97
3.1 政府研究重点与战略	97
3.2 技术转让	98
4 机器人技术和自动化研究的提供商	98
4.1 皇家研究所——工业研究有限公司	98
4.2 奥克兰大学	99
4.3 怀卡托大学	100
4.4 坎特伯雷大学	100
4.5 梅西大学	100
5 主要研究领域——先进制造系统与技术	101
6 工业界资助的机器人技术研究——生肉加工自动化	102
7 工业界资助的自动化——公司专用技术项目	104
8 结论	105
9 致谢	105
10 作者的详细联系地址	106
 1997—1998 年 IT 与 IMT 计划中机器人技术与项目综述	107
 1998 IARP 秘书处报告	117
 国际先进机器人技术计划 (IARP) 第十七次联合协调讨论会 (JCF) 总结报告	120

美国状况报告

NORMAN CAPLAN
NATIONAL SCIENCE FOUNDATION
WASHINGTON, DC

序言

在美国，机器人与智能机器是得到政府、工业界与学术界等组织积极支持的研究与技术领域。美国并没有一个统一的有组织的计划，但仍有大量资金投入了传感器、微加工、计算机科学、控制和其它元件技术的研究。其应用领域从空间应用到海下应用，包括医用与其它应用等。

今年，美国活动报告的重点是 Johns Hopkins 大学的计算机集成式外科系统与技术中心。该中心具有多家研究所，研究领域涉及多个学科。它由 Johns Hopkins 大学与医疗研究所、MIT 与 Brigham 及妇女医院、Carnegie-Mellon 大学与 Shadyside 医院组成。中心的任务是科研、测试台、教育与超越。

该报告并不包含所有内容，但提出了该中心与机器人学及机器智能相关的主要研究部分。若要了解更具体的细节，请与 Johns Hopkins 大学的各研究人员联系。

预言

20 年内计算机集成式外科系统与技术对医疗护理的影响将与过去 20 年计算机集成制造系统与技术对工业生产的影响一样深刻。

历史脚注

80 年代中期，Dr. Taylor 的机器人系统与技术小组在 IBM 研究所开发了一个系统，用来测试 IBM 主流计算机中超大型(600mm×800mm)印刷电路板上的 80μm 印刷连线特性。该系统揉合了粗—精操作、目标特性的端点感知以及与制造数据库的集成等。这种系统能够完成其它方式无法完成的制造任务（例如检测）。这项

工作还说明了数据与制造技术的集成在多大程度上提高了制造的柔性，缩短了制造的反应周期，使其在整个制造过程中的一致性与控制更好。

用于矫形外科术的集成式外科系统——“Robodoc（机器人医生）”系统，是 IBM 研究所与加州大学 Davis 分校间的一项合作研究项目开发的，该项目旨在探讨在多大程度上可以将类似的方法用于外科 CAD/CAM 过程。有趣的是，在该项目早期 IBM 小组常将其称作“数据驱动的外科”，这是对 IBM “数据驱动的自动化”的直接模仿。

计算机集成外科

- 超越人类在外科手术中的限制
- 在外科实践中在**质量与成本效率**方面取得重大进展

使我们的预测成为现实的因素在很多方面都与使计算机集成制造成为现实的因素相似。基于计算机的机器能使外科医生完成以往利用传统工具及技术无法完成的工作。而且，它还能在很大程度上提高外科手术执行过程中的一致性。一致性的提高降低了失误与外科“并发症”的发生率及其相关成本。而且，这些系统本身就能记录力、运动和其它内部操作数据，达到了以往未达到的程度。它不仅提高了一致性，而且还可能改进外科结果以及一种与过程学习相似的技术，过程学习在高级的计算机集成制造中经常可以看到。

无疑计算机集成式外科系统的资本成本很高，但我们认为，减轻患者病痛、减少并发症、痊愈速度快、（最重要的是）健康程度提高等使 CIS（计算机集成外科）系统实际上为社会大大节约了开支。由于计算机与基于计算机的技术的成本性能仍不断提高，因此这些因素将会得到强化。

当前实践的约束

- 人员约束：**• 性能；• 进入；• 一致性；• 信息集成
系统约束：• 护理一致性；• 护理方法；• 护理成本

人类外科医生在灵活性、适应能力与（最重要的是）判断能力方面远优于机器。人具有手眼协调能力，在能够利用这种能力的环境（例如开放式肝切除）中

人的操作更有效。但不幸的是，与进入目标器官相关的是间接损害，而且这种损害常常很严重，对人来说在操作级上做极精细的修复是极困难的，这种修复与我们居住山洞的祖先在日常生活中的要求迥然不同。而且，人们现在还不大适应使用量化的几何数据或传感器信息，而是习惯那些自然赋予我们的信息。

由于外科医生目前更为专业化，在少数几个主要的医疗中心外将专家知识用于困难病例或由普通外科医生取得与天才医生相同的结果是异常困难的。

CASP/CASE：外科 CAD/CAM

计算机辅助的外科规划与计算机辅助的外科执行系统将病人具体的精确模型、外科规划优化与一系列执行环境综合在一起，使得规划能够以最小的损伤精确地、安全地得到执行。它们对外科手术的质量、一致性、有效性、成本效率的影响与工业 CAD/CAM 对制造业的影响一样。

CAD/CAM	CASP/CASE
• CAD -大批量生产设计 -“绘图系统” -设计优化器 -功能仿真 • CAM -可编程自动化 -定量制造 -由工人完成不能实现自动化的步骤	• CASP -单过程规划 -基于图像的模型 -治疗优化 -学习+预测 • CASE -可编程强化 -单一执行 -外科判断

外科助手

外科助手系统将在执行精确的最小损伤外科过程时与人类外科医生合作工作。我们将机器人居民的开发看作是一个巨大的挑战，它应能对许多与用于人的

命令相同的监督命令做出响应。

强化

在外科任务的性能方面，外科强化系统将从根本上超越人的传感器—电机限制。它们将为 CASP/CASE 应用领域提供“CASE”并创造外科助手的进化基础。

仿真

外科仿真系统的应用领域将超越医疗人员的训练。通过引入具体的病人模型，它们将为 CASP/CASE 应用提供“CASP”。而且，它们的外科子任务与过程模型将为外科助手的最终开发提供大部分理论基础。

这些系统是相互关联的

构筑这些系统需要在工程知识方面取得本质性进展

为什么需要 ERC

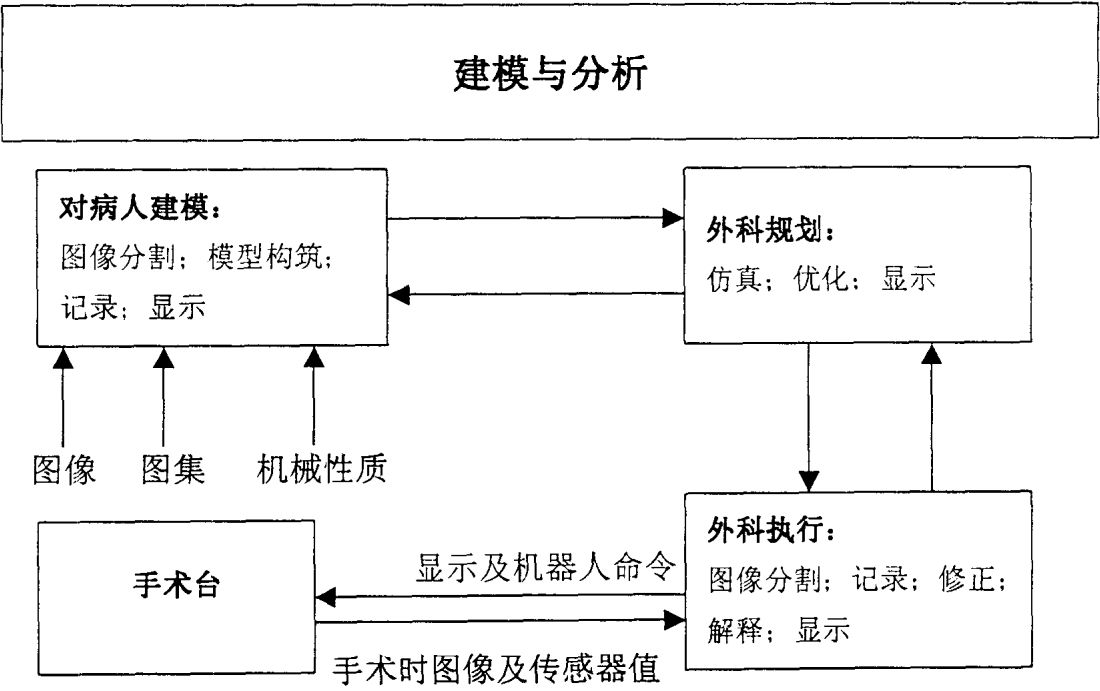
影响 CISST 广泛使用的障碍：

工程技术方面：核心研究、系统、标准

结构方面：三种文化、关键物质、测试台与工具、教育

尽管人们日益认识到 CIS 的潜力，但其开发与使用仍存在着巨大的障碍。首先，这些系统在建模与分析及层面间技术等核心领域存在着本质性的研究挑战。为支持研究与实验需要装配硬件与软件子系统，其运行开支是一个严重的障碍，而且还迫切需要测试台及相关环境，以便提供基础设施与范围进行研究开发。系统与评估标准的缺乏加重了工程研究人员与医疗研究人员面临的困难，他们需要

各自开展工作。新的 CIS 系统与技术 在创新与商业应用间的研制时间异常地长，这在美国更为严重，这对于潜力巨大的新思想的投资而言也是一个障碍。除非采取对应措施，否则所产生的专业知识差距将对美国的医疗器械工业提出竞争性的挑战，如同 20 年前美国汽车工业面临的挑战一样。最后，还迫切需要教育计划来广泛培训研究人员、医师与开发工程师人员，将会需要他们来创造、使用新出现的 CIS 系统。克服这些障碍的最佳方法是利用基础广泛的多学科工程研究中心。



这种推动因素是 ERC 基础设施的一个关键部分，它是其它系统的基石。这种推动因素的诱发条件是计算机与机器人将在外科手术中起辅助作用，需要知道其动作是如何与患者交互的，因而需要患者与手术过程的模型。所以这种推动因素的重点是提供一个丰富的计算基础设施，将患者、医生与机器人联系起来。

挑战：具体的病人模型

问题：制作逼真的能够支持仿真与过程规划的具体病人模型

研究：分割并登记到图册上；

将几何形状与机械特性结合起来；
将触觉与视觉仿真结合起来；
将显示能力与内部操作工具联系起来。

挑战：形变组织的建模

问题：推广能够反映内部操作变化的组织与器官的柔性模型。

研究：制作病人的具体模型；
利用内部操作感知法来观测组织的运动与力；
具有不确定性的柔性几何结构的新表述法。

层面间技术

推动因素 1：建模与分析 ← 推动因素 2：层面间技术 → 推动因素 3：系统
在计算机模型的虚拟现实与手术室的现实世界间建起一座物理的与感知的桥梁。

推动因素 2 在此中心中起着中心作用。它将计算机模型的虚拟世界（推动因素 1）与测试台及手术室系统的现实世界（推动因素 3）联系起来。我们将组织起来投入三个子推动因素方面的工作，每个子推动因素对应于一些子系统，无论是新型传感器还是机器人装置，它们将连回到已提出的测试台上。

层面间技术：课题

推动因素 2.1：成像技术与传感器装置
推动因素 2.2：机器人装置
推动因素 2.3：人机接口

推动因素 2 是高度分散的，因此我们将组织成三个子推动因素。

第一个子推动因素将重点放在新型成像技术与传感装置上，目标是在外科 CASP/CASE 与外科强化的执行过程中进行实时建模与反馈。

第二个子推动因素的重点是能够极大扩展人类操作能力的装置：在限定地方与特有外科环境中工作的精度、几何精度与能力。

第三个子推动因素的重点是开发触觉与附加视觉显示装置，用于外科手术。该子推动因素的一个重要目标是研究在完成高度灵活的外科手术时人的因素。

层面间技术：核心问题

- 成像与感知
 - 实时处理
 - 装置物理学与制作
- 机器人学
 - 微型化与灵巧性
 - 协调控制
- 人机交互
 - 建模及对人类期望的适应

外科性能的评估

我们不仅要研究人的灵活性而且还要强化或增强它。一个实例是 Cam Riviere (CMU)、Pat Jensen (JHU) 与 Nitish Thakor (JHU) 正在开发的显微外科评估测试台。该项目将利用 JHU 显微外科高级开发实验室的资源，其负责人是 Eugene deJuan, MD，它还是推动因素 3 的协调负责人。

近期目标是开发一个三维手与外科工具端点运动测试台。该项目的重点是研究显微外科中的颤动，目标是将颤动由几百微米降到 10 微米或更小。

中期重点是测试用来强化人的能力的机器人系统。

长期而言，该系统将提供数据来研究外科任务，这也我们的目标的一部分，即表征外科的“句法”与“语法”，以便用来开发高性能的外科助手。

系统

显微外科助手

我们将以显微外科助手机器人为例来说明某些上述观点。

最初阶段将开发和使用“稳定手”机器人，直接用来强化显微外科。由于外科医生与机器人都持有外科工具，这些工具将与组织的非线性柔顺部分接触，因此做好这一点需要在协调控制方面取得本质性的进展。后一阶段，该系统可被记录到术前病人模型与外科规划中，并以各种方式（如图像重叠装置）显示给外科医生。这样所得到的 CASP/CASE 系统就可作为一个测试台，来建立更好的组织模型与仿真模型、研究外科任务。最后，我们希望我们的理解是透彻的，以便我们能够开始开发高度通用的助手。

法国先进机器人技术研究开发现状报告

1 现状及当前研究活动概述

1.1 引言

1996 年 10 月, IARP 在卡尔斯鲁厄发表的报告中评价了机器人研究技术的实际应用现状及未来影响, 并且重申了其宪章:

“促进先进机器人系统开发的国际合作; 这种先进机器人系统能够使人类避开苛刻、危险条件或环境中的困难工作。”

实际上, 新的前沿应用领域以及科学技术方面的问题都对机器人技术人员以及社会、经济和政治政策的制订者提出了挑战。

首先, 在基础研究层上, 我们需要开发许多技术, 包括移动机构、微型系统、灵巧手等新型机械装置的设计, 以及 3D 环境感知与建模、运动和任务规划、反应性和决策自主性等最先进的技术。

其次, 还需研究开发一大批新的现实世界应用领域:

- 人类前沿领域和基于现场的应用领域, 如采矿、林业、农业、排雷、水下、陆地恶劣环境、空间等;
- 服务机器人, 如计划维修/维护、庭院和联合运输、建筑、环境保护和危险废弃物的搬运、排水管道检查和维修;
- 面向公众的应用, 从家庭和专业清扫、宾馆和医院的服务、人员保卫到残疾人和老年人辅助设备。

与其它发达国家一样, 法国的机器人技术研究领域通常与 IARP 涉及到的领域直接相关, 而且主要是在每个大学、工程学院、公共研究机构和很多公司组织中完成的。

这篇现状报告将介绍法国与国家研究活动和国际合作规划 (ESPRIT、EUREKA、IMS 等) 有关的研究项目。

介绍所有这些研究活动是不合适的, 而且实际上也是不可能的。我们相信, 若想全面了解法国先进机器人技术的研究现状, 只需简要介绍一下由下面两类组织牵头的合作项目和结构化研究活动即可, 它们是:

- 国家研究组织, 例如 CNRS (国家科学研究中心, Centre National de la

Recherche Scientifique) 和 INRIA (国家信息与自动化研究所, Institut National de Recherche en Informatique et Automatique), 它们与大学实验室有着密切的联系, 在基础研究方面从事着大范围的深入研究。

- 面向领域的组织, 这些组织进行的重要研究活动对 IARP 的总体领域有着直接影响, 因此它们的研究活动是本报告的一部分。这些组织按字母顺序排列依次是: CEA (原子能委员会, Commissariat à l'Energie Atomique)、EPF (法国电力, Electricité de France)、CNES (国家空间研究中心, Centre National d'Etudes Spatiales)、IFREMER (法国海洋勘探研究所, Institut Français de Recherche pour l'Exploration de la Mer)。

上述组织以多种方式合作, 推动了先进机器人技术的发展, 因而加强了法国从事该领域研究的研究小组的最佳合作, 提高了效率。这是一个主要特点, 这一点在这里介绍的绝大部分项目和规划中表现得十分明显。

尽管我们在 1997 年的现状报告中也作了类似介绍, 然而本报告试图对原文进行压缩, 尤其是压缩了在目标和/或结构方面正在发生重要变化的部分:

- 总的基本研究和启动技术;
- 农用机器人技术;
- 人类辅助用机器人技术系统。

我们将着重介绍医用、海洋和现场机器人技术领域的新进展。

2 研发活动报告

2.1 国家规划

2.1.1 CNRS 的智能机器战略行动

2.1.1.1 行动综述

先进机器人技术是由信息技术、微型技术和微型系统支持的。为评估它目前的发展情况, 我们研究了机器人技术在非工业应用领域的新前沿。事实上, **基于传感器的系统和嵌入式智能**是将来把机器人带出车间的很多新机器和产品中的决定因素 (参见 1)。

实际上, 先进机器人技术的这个新前沿提供了双重挑战和双重机遇。

首先, 这种挑战和机遇为机器人技术提供了坚实的基础, 使其成为一种与应

用无关的领域，人们可以基于一套连贯的概念和正式工具把它建设成一个真正的科学学科。这就意味着基于机器智能的机器人将得到真正发展；这种系统必须在传感解释、任务评估、符号推理、基于传感器的执行控制等层次上把感知集成到行动中，进而形成一个由人通过一个复杂的操作员—机器界面进行控制的完全集成的系统。

其次，第二个挑战和机遇是在一系列领域里开发面向应用的机器人和系统，这些领域既可以是那些令人振奋的技术成果，也可以是具有深远经济影响和很高社会影响的领域。

在国家一级，几家实验室当前正在从事先进机器人技术项目研究，其合伙人来自一般的和面向领域的公共机构和工业界。

相应地，CNRS 组织了一个由十项特殊行动组成的网络，把几家实验室联合成一家中心实验室，向其它研究机构或工业合作单位开放。

其中三项行动正在重新调整或者正在经历重大的目标变化，所以本报告不再介绍这三项行动。

以下部分将全面介绍七项正在进行的研究活动。

2.1.1.2 用于非协作场所的自主式介入机器人

项目目标：该研究计划是要设计在自然和非（或部分）协作环境中活动的自主移动机器人并进行系统开发，所设计的机器人具有远程遥控及任务级遥控编程的能力。

研究主课题包括：

- 移动系统的设计与控制；
- 3D 感知与环境建模；
- 决策的实时机载自主性；
- 遥控编程与远程监控系统。

调查了几个一般性研究课题：

- 未知自然环境中的导航。为它开发了一种采用模型复杂度的方法，还有一些用于计算地形（平坦/崎岖/拥挤）复杂度的过程，目的是适应能量和计算资源的局限性。
- 几台机器人协作探查或完成任务。这包括环境模型共享、协作规划与执行以及相互定位，它对排雷和探查应用尤其具有重要意义。
- 机器人—土壤间交互作用建模，用于越野运动控制，包括蠕动运动以及沙地或疏松土壤（与 LRP 的合作项目）。