



社区搜索

关键字:

类型: =整站搜索=

检索

专业委员会

地方学会

学会章程

控制科技在信息丰富的世界中未来的发展方向(二)

应用范围

人们决定围绕5个主要领域对应用进行论述提出指导本文中的建议的主线。这五个领域是航空航天和运输、信息与网络、机器人技术与智能机器、生物与医学、以及材料和加工。另外，在专门小组的审议的过程中出现了，包括环境科学与工程、经济与金融、以及分子和量子系统。合起来，这些几个其他的领域体现的和大量的应用结合证明了来自控制的想法的应用性的广阔范围。

在这些应用领域中的每个机会与挑战在报告中形成了主要的建议的基础。在每个领域中，专门小组不仅在该领域的控制研究人员中，而且在应用领域方面的那些可能不认为他们自己是控制研究人员的专家中寻找建议和见识。这样，我们希望确定在每个领域中真实的挑战，而不仅仅是只确定引起好奇但效果未必是一个实质机会的控制问题。希望用这些领域中的调研结果来引起不仅是控制界，而且是科学家和工程师的注意，去寻求了解控制工具怎样被用于他们的学科。

有几条主线纵贯所有领域。系统的及严格的工具使用是被认为是将来成功的关键，也是该领域中的一个重要的标志。同时，下一代的难题将要求在控制研究与教育中范例的转变。可供利用的信息的数量在所有的应用领域中不断增长，这要求来自计算机科学和通讯的理念与用于建模、包含符号和连续动力的混合的复杂决策综合的经过改进工具进一步结合起来。对构成未来进展的基础的理论的继续研究的需要也贯穿在所有的应用中。

在以下的每个部分中，我们简要地概述在主体领域内的挑战。

(1) 航空航天与运输

航空航天与运输包含一个非常重要的应用领域集合，其中，控制是一项关键的启动技术。这些应用领域代表现代世界的全部科技能力的一个重要部分。它们也是它的经济力量的主要的部分，而且它们非常有助于它的人民的幸福。控制在这些应用领域中的历史角色，在这些领域中目前的挑战，以及未来计划需要都强有力地支持报告中的建议。

在航空航天中，特别是，追溯到二十世纪初期控制一直是一种关键的科技的性能。的确，莱特兄弟不仅仅是简单地以证明用动力推动的飞行而著名——他们实际上证明了受控的有动力的飞行。他们的早期的莱特飞行器是把移动控制表面（垂直的尾舵与前舵）与翘曲机翼合成一体使飞行员可以调节飞机的飞行。实际上，飞机本身是不稳定的，因此持续的驾驶修正必须遵循的。在这个控制飞行的早期的例子之后是一个引人入胜的成功故事，它导致我们今天在现代商业和军用飞机上所见到飞行控制技术的持续改进，最终出现了超高性能，非常可靠的自动飞行控制系统。如图4所示即为两架这样的飞机。



(a)



(b)

图4。(a) F-18飞机，第一种运用能遥控的自动驾驶仪技术的军用飞机之一，(b) X-45 (UCAV) 无人飞行器。(图片由(美国)国家航空和宇宙航行局Dryden飞行研究中心提供。)

控制技术的相似的成功故事发生在很多其他应用领域。第二次世界大战早期的轰炸瞄准器和射击控制伺服系统已经逐步发展成今天的非常准确的雷达制导的枪炮和精密制导武器。早些时候容易出现故障的空间任务已经逐步发展成常规发射操作，在月球上载人的登陆，永久载人的空间站，机器人车运载工具漫游火星，在外层行星的轨道飞行器，以及许多商用及军用卫星服务于各种监视，通讯，导航，及地球观察需要。小汽车从手工调试的机械/气动的技术发展到全部主要功能都由计算机的控制操作，包括加油，喷射控制，巡航控制，刹车，及车厢舒适度。

尽管它有很多成功，今天控制仍需要一些工程设计的系统以及他们中的许多在未来超过目前的工具和理论的能力。设计问题已经从一个所谓的控制层次的“内回路”（如调节一个指定的飞行参数）逐渐变为操作方式，运载工具构造，净载重量构造，及健康状况等提供逻辑调节的多种“外回路”功能[13]。对飞机来说，这些功能被共同地称为“运载工具管理”。从历史上他们被飞行员或其他人类操作者执行，但是今天那个分界线正在变化，控制系统正逐渐地承担这些功能。

目前为设计这个体系的上层工程方法是远远不够规范和系统的。它们是由一长串来自专家的逻辑“如果—那么—否则”规则的集合组成的，把这些规则编成程序，再在运行环境中对其执行仿真。因为这些逻辑规则不提供固有的平滑性（任何状态过渡都可能），只有仿真才能用于评估，只有完全仿真才能保证良好的设计特点。很明显，这是一种不能接受的情况，控制界所持有的强烈的系统理论背景以及严谨的传统可以作出实质性贡献。

即将出现的另一个戏剧性的趋势是具有局部计算、全局通讯连接、物理实体产生极小规律、没有产生集中控制动作的分布式实体的巨大综合的动力学变化。这个趋势的例子包括图像航空航天管理问题、自动化的高速公路和交通管理、对未来战场的指挥和控制等。

（2）信息与网络

通信网络的迅速发展为控制提供几种较大的机会和挑战。虽然有重叠，我们仍能够把它们粗略地分为两个主要领域：网络的控制和控制网络。

网络的控制是一个大的范围，包括很多题目，包括拥塞控制，邮件路由，数据存储和动力管理。这些控制问题的几个特征使他们非常富于挑战性。最主要的特征是系统的大规模；因特网大概是人类曾经建造的最大的反馈控制系统（见图5）。另一个是控制问题的分散本质：局部的决定必须被迅速的做出并且只能基于局部信息之上。稳定性由于时变延迟的存在而复杂化，因为关于网络状态的信息只能被观察或者在一定时间的延迟后才能分程传递到控制器上，而且一个局部控制动作的影响在实际的延迟之后可能被在整个网络中感受到。在网络中的不确定性和变化，通过网络拓扑字、传输通路特性、通讯量需求、可利用的资源等等，可能经常地不可预见地变化。另一个错综化的问题是网络必须支持的多变化的通讯量特性，以信息包和流动时标的到达统计，以及对服务质量的不同要求，即网络必须支持的延迟，带宽，及损失概率。

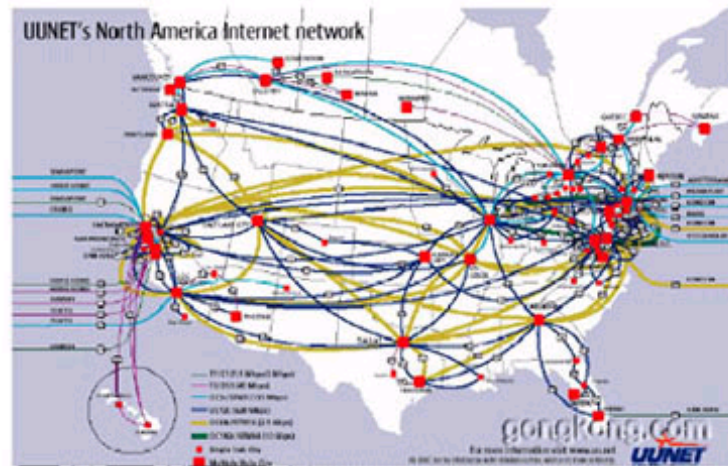


图5. 北美UUNET网络中枢。（图片由WorldCom. 提供。）

在这种环境里必须管理的资源包括计算贮存和在末端主机和路由器的输送能力。这样的系统的性能可以用很多方式判断：传输量、延迟、损失率、公平性，可靠性、以及网络适配器的通行模式的变化、资源可获量的变化、及网络阻塞的变化的速度与品质。

从目前信息技术的发展来看已经产生了一个允许用户相互交换信息的全球化的因特网，很清楚，下一个阶段将包括更多与物理环境和无线或有线交相作用，可以形成控制我们的物理环境的一支管弦乐队。例子包括汽车、智能家居、大的制造系统、智能公路和网络化的城市服务，以及企业范围内的供应和后勤链。因而，这下一个阶段的信息技术革命是通信、计算和控制的汇集。

因为现有的网络继续扩建，网络技术变得便宜并且比固定的点对点的连接更可靠，即使在小的局部的系统里，越来越多控制系统将在网络之上运行。我们能预见传感器、传动装置、诊断学、及指挥和协调信号全部通过数据网络输送。估计和控制功能能够被穿过多处理器分配，也被数据网络连接。（例如，在通过一个网络推进相关信息之前智能传感器能够大量地进行本地信号处理。）

当前的控制系统几乎普遍基于同步的、计时系统，因此它们要求信息网络能够保证传感器、传动装置和其他信号在一个已知的、固定的延迟中的传输。虽然当前的控制系统经得起设计过程的变化（例如在某些空气动力学系数，电机常数，或转动惯量中的变化），它们根本不能容忍（非模型的）通讯体系结构：全部信号通过同步

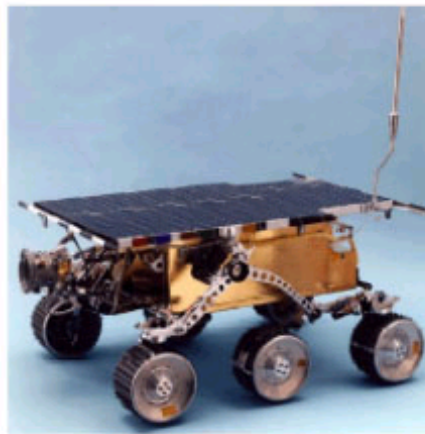
的专用的输送，带有已知的（或者有限制的最差的情况）的延迟及无信息包的损失。小的专用的信息网络能够被设定成与控制系统的这些苛求的规格相适合，但是一个非常有趣的问题是是否我们能开发一种控制系统在一个分布式、异步的，基于信息包的环境中的理论和实践。

（3）机器人技术和智能机械

机器人技术和智能机械是指包括带有类似人类行为的机械的发展的应用集合。然而早期的机器人包括有轮的和有腿的机器可能进行机器人竞赛和行星探测，无人飞行器的监视和搏斗，及给医生提供新能力的医学装置。未来的应用将包括增强自治权和增加同人类和同社会的相互作用。控制是在所有这些应用里的一个中心要素并且在将要发展的下一代智能机器的发展中更加重要。

控制论工程的目标，在20世纪40年代甚至更早就已经被明确表达，就是使系统能展现出高度的灵活的展示或对变化的环境作出“智能”反应。在1948年，麻省理工学院的数学家Norbert Wiener给出了一个对控制论进行了广博的虽然是完全非数学的描述[14]。钱学森通过与控制导弹有关的问题的驱动于1954年提出了可作更多数学解释的工程控制论[15]。这些工作及那时候其它的工作的聚合形成了在机器人技术和控制的现代工作中大部分智力的基础。

在这一领域的成功证明是火星旅居者机器人和索尼爱波机器人这两个成就，如图6所示。从1997年7月开始旅居者成功地在火星表面运动了83天并且传送回火星环境的实况图片。1999年的7月索尼的爱波机器人初次登场并且是第一款被一个主要的跨国公司对大众销售的娱乐型的机器人。尤其值得注意的是因为它的人工智能（AI）技术的使用即由于外部刺激以及它的自己的判断力使它做出响应动作。



(a)



(b)

图6。（a）火星旅居者漫游者和（b）索尼爱波娱乐表演机器人。（图片由喷气推进实验室和索尼电子公司提供。）

注意机器人技术方面的控制界的历史是十分有趣的。IEEE机器技术与自动化协会是在20世纪八十年代初由IEEE控制系统协会和IEEE计算机协会共同成立的，表明这两个团体对机器人技术都有兴趣。不幸地，虽然很多控制研究人员是机器人技术方面的积极分子，在整个大部分20世纪80年代和90年代控制界却没有在机器人技术研究中扮演一个领导的角色。这是一次错过的机会，因为机器人技术代表一个来自计算机科学、人工智能和控制结合的概念的重要应用的集合。

在过去的半个世纪尽管在机器人技术方面有巨大的发展，但也只是在其婴儿期。与人相比较，今天的机器人仍然展示极其简单的行为，并且它们的移动、判读复杂的感觉输入，完成更高水平的推理，及团队合作的能力是有限的。当然，Wiener对于机器人技术和和智能机器的许多设想仍然没有实现。在很多方面仍需要发展以使完成这些设想，包括感知、激励及能量存储的发展，同时人工智能界把他们在计划编制、适应及学习的进展与控制界对反馈系统的建模，分析和设计的技术结合的机会给发展提出一更新的道路。这个应用范围是与专家小组在对更高的水平推理和决策工具的计算、通讯和控制的发展的建设的强有力地联系在一起，保持着一个强大的理论基础以及与数学的相互作用。

（4）生物学和医学

在多种水平的组织中，从分子的到细胞的到生物的直到一个人，生物学变得更易于接近工程中常用的方法：数学建模、系统理论、计算，及综合的抽象方法。相反地，在生物学中的发现的步伐的加速正预示着可能在人造系统里的重要的实际应用的新设计原理。这个在生物学和工程的界面的协同增效提供了在这两个领域中迎接挑战的前所未有的机会。控制的原理是生物学工程大多数关键问题的重点并且将在这个领域的未来中扮演一个启动角色。

专家小组确定一个主要的主题是生物学控制网络的反向（并且最终正向的）工程科学，例如在图7中所示的那

个。多种生物现象为控制提供了一个丰富的例子来源，包括基因规则和信号转换；荷尔蒙的、免疫学的、及心脏血管的反馈机械装置；肌肉的控制和运动；主动感知，视觉及本体感受；注意和意识；及人口动态和流行病。这些中的每个（并且更多的）为我们提供了机会，断定在哪个可行，它怎样工作，以及我们能够做些什么去影响它。

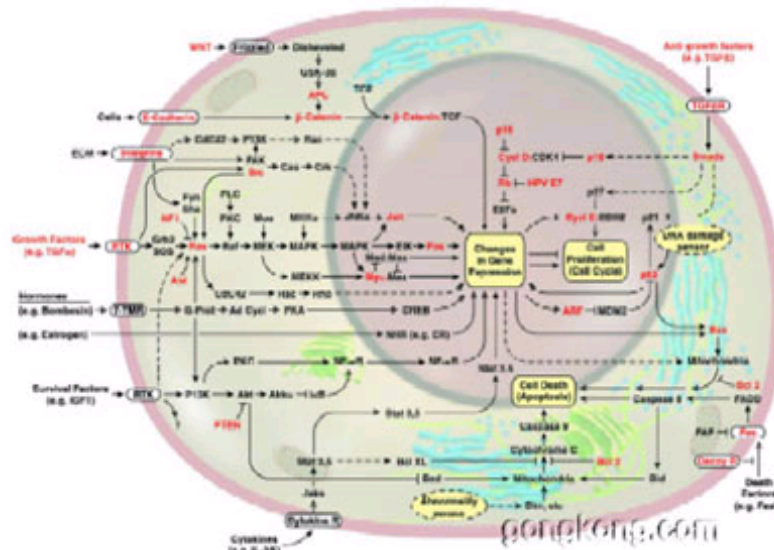


图7. 说明哺乳动物细胞的信号发生线路的布线图[16]。（获得Elsevier Science许可后再版自[16]。）

专家小组也为在医学和生物医学的研究中的控制确定了潜在的角色。这些包括智能的手术室和医院，从原始数据到决定；图像引导的手术和治疗；硬件和软件的组织集成；医学和生物学的化验的流体流动控制；及身体的（物理的）和神经系统的假体的发展。这些领域的大多数都充分地于机器人技术交迭。

报告聚焦在生物学系统的3个相关的方面：分子生物学，综合生物学，及医学成像。这些方面是生物学系统的一个更大的类别的代表并且表明来自控制的原理可以怎样用来理解自然及建造设计的系统。

(5) 材料及加工

化学工业是美国最成功的产业之一，有超过100万份工作及4000亿美元的年产量。已经有连续40年的贸易顺差记录，它是美国首要的出口工业：在2000年总计出口725亿美元，占美国全部出口超过10%的份额，并且在1997年产生一个超过200亿美元记录的贸易顺差。

加工制造业的运转过程将需要先进的信息和制造过程控制技术持续引入如果化学工业要保持它以低成本在可靠的最好的用户服务下交付产品的全球能力。另外，正在探索那些将需要新的方法让控制取得成功的几个新技术领域。这些新技术领域包括例如电子学，化学，和生物材料薄膜加工领域中的纳米技术到以及为提供一系列管理和企业资源分配设计的集成微系统。在这些领域中对新发展的盈利是真实的，而且在从半导体到医药制品到大量材料产业的将来发展中控制的使用是关键的。过程控制的进步的一个例子是制造如在图8中所示的那种微处理器。

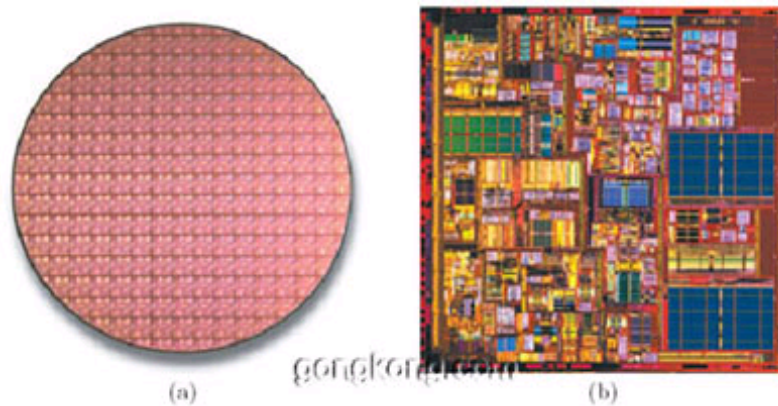


图8. 英特尔奔腾四晶片和模片。

专家小组确定了在材料和加工领域内遍及大多数应用的几个共同的特征。建模扮演着一个至关重要的角色，并且以多种时间的和空间比结合化学、流体力学，热科学和其他学科的多学科系统对更好的解决方法有一个明确的需要。对于在不确定条件下测定这些比率以及设计、控制及优化来说更好的数值法也是必要的。而且控制技术必须利用增加现场测量法以控制越来越复杂的现象。

除对改进产品质量的持续需要之外，在过程控制工业里的几个其他因素是供控制使用的驱动器。环境法令继续对在污染物的产生给予更严格的限制，强制使用采用了先进技术的污染控制装置。对环境的安全考虑已经导致更小的贮存量的设计以减少化学制品严重渗漏的风险，要求在上游过程进行更严密的控制，并且在某些情况中，对供应锁链也要严密控制。能量耗费上的巨大增长已经鼓励工程师们结合过去常常独立操作的很多过程设计高度集成的装置。所有这些趋势都增加了这些过程的复杂性及对控制系统的性能的要求，使控制系统设计越来越具有挑战性。

如同在很多其他应用领域一样，新的传感器技术正为控制创造新机会。在线的传感器，包括激光背散射、视频显微技术、紫外线、红外线、及喇曼光谱测定技术，正变得更坚固并且不那么昂贵并且在更多的生产过程里出现。大多数这些传感器已经被当今的过程控制系统使用，但是还需要有更复杂的信号处理和控制技术对由这些传感器提供的实时信息进行更有效地使用。控制工程师也能为所需的传感器的更好的设计做出贡献，例如，在微电子技术工业方面。如同在别处，挑战是对这些新传感器提供的大量数据的有效的使用。另外，需要有一个面向控制建立基础过程的基本物理模型的方法去理解通过传感器的数据在内部状态下可观性的基本限制。

其他领域

前面的部分已经描述了被专家小组讨论的一些主要的应用领域。然而，在很多领域中来自控制的想法正被使用或者可能被使用。报告描述在以下领域的另外的机会和挑战：

- . 环境科学和工程，尤其大气系统和微生物生态系统
- . 经济学和金融，包括象定价和套头交易选择那样的问题
- . 电磁学，包括隐形应用的主动电磁消零
- . 分子、量子及纳米级系统，包括纳米结构材料的设计，精密测量，及量子信息处理
- . 能源系统，包括电网负荷分配和动力管理

教育及延伸

控制教育是团体的活动的一个组成部分也是转变和影响的最重要的机制之一。在1998年，国家科学基金会（NSF）和IEEE控制系统协会（CSS）共同发起一个控制工程教育的专题讨论会产生了许多改进控制教育的建议（见[6]）。专家小组的调研结果及建议就是基于这个以及专家小组成员和控制团体之间的这个讨论。

传统上控制是利用它的工具在各种工程学科内的的教育，在一个给定的范畴内允许控制方法特别是应用之间的紧密结合。它也毫无例外地在工程系内专门地教授，及其对本科生。研究生课程则经常是不同系之间的公共课；有的地方则设为应用数学或者运筹学方面的课程的一部分（尤其是关于最佳控制和随机系统）。几十年来这种方法已经很好地服务于那个领域并且已经培养了一个控制从业者和研究人员的卓越的团体。

逐渐地，现代控制工程师进入作为一位系统工程的角色，负责连接一个复杂的产品或系统的很多要素。这不仅仅需要在控制的框架和工具里的一个坚实的基础，也需要对多学科的技术细节的理解的能力，包括物理学，化学，电子学，计算机科学，和运筹学。领导能力和沟通技巧在这些环境里是成功的关键。

另外，除了其传统的应用领域外控制正越来越多地应用于航空学，化学工程，电机工程和机械工程。生物学家正在把来自控制的一些想法用来模仿和分析细胞与动物；计算机科学家正把控制用于路由器和嵌入软件的设计；物理学家使用控制测量并且修改量子系统的变化过程；而经济学家则正探索把反馈应用于市场和商业。

应用控制方面的变化给社团带来了一个挑战。在美国，在教育中对学科分界线是非常牢固的，控制教育工作者和研究人员之间很难越过这些边界的保持牢固的联系。虽然控制团体很大也很兴旺，控制一般只是一个课程的任何特定的讨论的一个小的部分，因为这些都只发生在系里。因此，要获得所必需的资源对控制课程作重大改变是困难的。另外，控制的许多新应用都超出了讲授控制的传统学科之外，要证明这些新兴的课程对这个更广泛的团体有吸引力并且把那些新课程并入其他学科的课程（如生物学，物理学或医学）是困难的。

为了实现报告中所描述的机会，控制教育必须被调整成能够在这个新的环境中运转。有几所大学已经开始在控制教育的讲授和组织方式作出改变，并且这些努力对如何使这种调整成功的完成提供了某些见识。目前的方法包括建立一个包括来自于许多不同学科的研究人员的控制的交叉学科的研究中心，在控制中建立一个交叉多个科系的共有的研究生课程，以及在控制中建立硕士或博士教育大纲（这在欧洲很普遍）。

与控制的这个新环境来相联系，为了使更广泛的团体对反馈和控制的基本原理更了解，教育就显得十分重要了。正如专家小组的主要建议说明的那样，控制的大多数将来的机会都在新的领域中，并且控制界必须制订培养那些将致力于这些挑战的下一代的研究人员所需要的教育计划。

强调反馈概念和必备的数学知识是对新书和课程的一个关键要求，不要求学生具有传统的工程学背景。由于生物学、计算机科学、环境科学、物理学及其他学科中更越来越多的学生都寻找学习和应用控制的方法，教育工作者必须探索提供理解基本概念以及应用某些可用的先进的工具所必需的背景的新方式。应当编写针对这更普

通的听众的教科书并且用到对象是一年级生物学或计算机科学的大学生的课程中，他们可能除了二年级的标量普通微分方程和线性代数之外就不具备多少连续的数学的背景。

除了改变课程的设置从而拓宽控制的可达性之外，控制专业的学生广泛地掌握工程学，科学及数学知识也是很重要的。现代控制包括多种非常复杂的工程系统的发展与实现，而且控制团体一直是训练掌握系统前景的专业人员的一个主要的发起者。在控制的课程需要反映出这个角色并且为学生提供发展在现代工程和研究活动中的必要技能的机会。

同时，在控制过程中的工作量是巨大的，因而必须努力把现有的知识基础统一成一种更紧密的形式。对于新书有一个要求，即以有效的方式系统地介绍范围广泛的控制技术。这将是一项主要的事业，但是如果将来的控制专业的学生要接受简要但全面的控制基本原理的基础训练从而使他们能够继续延伸研究前沿并超越它目前的范围，这就显得很需要了。

建议

控制仍然是一个充满机会的领域。要实现这些机会，下一代的控制研究人员获得所需要的开发新工具和技术、探索新的应用领域、对新观众的影响的支持是十分重要的。对于这个结局，专家小组为加速控制的影响列举了五个比较主要的建议。

集成控制、计算与通讯

廉价和无所不在的感知、通信及计算，对大规模复杂系统的控制的新应用将是一个主要方法。在控制网络、网络的控制及安全关键的大规模互联系统的设计方面将产生很多新的研究问题和理论挑战。这些系统的一个关键特征是它的坚固的但是脆弱的性质，在执行中由于级联故障使其性能遭受大的破坏。

一个重大的挑战将是把控制、计算机科学、及通讯中完全不同的研究团体归拢到一起建立必要的统一的理论从而在这一领域中取得进步。除基于以个别调查者为基础的项目之外这些团体的共同研究将更加基于团队的努力，而且很可能会包括许多领域的专家致力于共同的问题。

为实现这一领域的机遇，专家小组建议政府机构和控制团体充分地增大以控制、计算机科学、通讯及网络的集成为目的的研究。

在美国，国防部已经通过多学科的大学研究起动（MURI）计划在这个领域中作了实质性的投资，而且这个趋势还应当继续下去。建立把控制、计算机科学和通讯结合在一起的较大的多学科中心以及培养在这些领域中有见识的工程师和研究人员将是重要的。

工业的介入对于这种综合的努力的最终成功将是关键性的，而大学应该开始与相关的公司寻找合作。例子包括网络设备的厂商。

控制、通讯及计算的集成方面不断的研究增强其好处在我们的运输系统（飞机、汽车和火车），我们的通讯网络（有线的、无线的及移动的），及企业范围内的经营和供给网络（电力、制造业、服务及修理）中比比皆是。

复杂决策系统的控制

在控制系统里逻辑和决策正在现代控制系统中起着越来越重大的作用。这种决策不仅包括基于系统条件的传统的逻辑分支，而且包括使用高级语言的更高水平的抽象推理。这些问题在传统上一直存在于人工智能界领域内，但是在许多应用中动力学、鲁棒性及互联的日益重要的作用表明控制团体的参与的必要性越来越明确。

一个类似的趋势是大系统中控制的使用，例如整个企业的后勤和供给链这些系统包含在一种不确定的未来面对要求为每个大的、非常不相同的系统所确定资源分配新协议作出决策。虽然对于这样的系统来说模型的分析与设计将是重要的，这些模型（及后来的控制机构）一定对于那些有数以百万元部件的大型系统一定要可升级的。而这些元部件本身就复杂得如同我们当前日常控制的系统。

对于如何处理这些问题，专家小组建议政府机构和控制团体充分地增加对在更高决策的水平上得控制的研究，移向企业级的系统。

控制团体多年来一直涉及的一个领域是控制在其微分方程中传统根源之外的延伸。而且很显然某些新的观念是必要的。对这种形式的系统的分析与设计的有效构架还没有被完全发展起来，而且控制团体必须涉及这类的应用以便了解如何阐述问题。

对于探索新观念来说一种有用的技术可能是试验台的发展。在军事舞台上，这些试验台包括无人运载工具（空中、陆地、海洋以及太空）的集合，与人类伙伴及对手的联合操作。在商业部门，服务性的机器人及私人助手

可能是一个富有成果的探索领域。以及在在一所大学的设置中，对于发展新范例和工具来说，机器人竞技的出现是控制研究人员应该作为一种机械装置来探究的有趣的趋势。在所有这些事例中，应该探索与人工智能团体的更强的联系，因为他们目前在许多这样的应用中处于最前沿。

在这个领域中研究的好处包括用系统的技术替代特定设计方法从而发展更加可靠和可维修的决策系统。它也将导致更有效率和自治的企业范围的系统并且，在军事领域中，为使人生命的危险减到最小的防卫物提供新选择。

控制的高风险、长远应用

随着科技对反馈的重要性的一种新的理解的产生以及新的传感器和执行机构的出现，使用操纵的手段比以前不断增多，控制的潜在的应用领域也在迅速增加。为了发现和利用这些新领域中的机会，专家们必须积极地参与其传统根基之外的领域的研究。同时，我们必须找到教育控制方面的领域的专家的途径，允许更充分的对话，并加速控制在数量巨大的潜在应用中的使用。

另外，很多应用将会为考虑控制而需要新范例。例如，我们传统的信号的概念是通过振幅和相位的关系把信息编码，这就可能需要被延伸到对系统的学习，在这当中允许用脉冲串或者生物化学的“信号”来追踪信息。

对于许多这样的领域的机会之一就是输出（发展和扩充）在控制过程中发展起来面向系统的建模的框架。针对聚集和分级建模而发展起来的工具在许多必须被理解的复杂现象中可能是重要的。在控制中的工具是最尖端的可以提供的工具之一，尤其是关于不确定性管理。

要实现一些这样的机会，专家小组建议政府机构和控制团体去探索控制在新领域的高风险、长远应用，例如纳米技术，量子力学，电磁学，生物学，以及环境科学。

在探索新领域过程中的一项挑战是两个（或更多）领域中的专家们必须走到一起，在主要基于学科的资金的结构下常常是很难做到的。多种机制可被用来做这个，包括通过控制项目为支付与控制研究人员并肩着手于难题的生物学家、物理学者及其他人提供的双重调查者资金。同样地，资金代理应该通过明确领域的项目放宽科学与技术的资金从而包括控制团体的基金。

另一个要求是建立一个控制研究人员能够与新团体合作的“聚会场所”，能够各自阐述对对方的原理与工具的理解。这将包括一周或更长的集中的专题讨论会，探索控制在新领域中的应用，或者针对某一特定应用领域中的控制的4至6周的短期课程以及在该领域的应用的研究班。

在大学里，需要新材料去教授那些想要学习关于控制的非专业人士。大学也应该考虑在科学和工程系之间的双重职位承认控制的较广义的本质以及对控制的需要不被限制在一个单一的学科领域上。交叉学科中心（例如位于圣芭芭拉加州大学的控制工程与计算中心）和控制的计划（例如加利福尼亚理工学院的控制与动力系统计划）就是联合职位的理所当然的场所，而且能够作为通过吸引资金及传统学科以外的学生来研究控制的新领域的一种催化剂。

控制的应用有许多成熟的领域，新领域中增加的活动将在许多不同领域中加速推动控制的发展以及控制的使用。在许多这些新应用领域里，被控制团体所支持的系统分析法尚待被应用，但是还将需要最终的工程应用。或许更重要的是，控制有机会对其他领域进行革命，特别是那些有着错综复杂难以理解的系统的领域。当然，这些难题是非常难的，而且以前的尝试不总成功，但是机会是大的，并且我们必须继续努力向前走。

对理论的支持及与数学的相互作用

控制的核心强度是其对理论的尊重及有效的使用，以及对受控制问题驱动的数学做出的贡献。严密是控制团体的标志，是其许多成就的关键。继续与数学相互作用以及对理论的支持当对控制的应用变得更复杂和更多样化时就显得更为重要。

目前的一种需要是使现有的知识库更紧凑以便该领域能继续增长。结合以前的结果以及为理解和使用那些结果提供一个更统一的结构在任何领域都是必要的，而且在控制史上已经发生过很多次。对于致力于巩固控制的基础的理论家来说，这个过程必须继续进行而且需要稳定的支持。控制专家也需要具有相应的抽象化的水平从现有的理论辨别出新的应用，扩充应用库。

为保证该领域的持续健康，专家小组建议社团和基金机构保持对理论的支持以及与更广义上的数学的相互作用。

某些可能与数学相互作用的领域包括动态系统、图论、组合学、复杂性理论、排队论以及统计学。关于控制与数学的相互作用下的其他观点能在Brockett一篇新近的综述文章里找到[10]。

一个关键的需要是为致力于核心理论的人们确定和提供基金的机制。多学科的、多大学的计划的迅速扩大已经

支持了很多值得做的项目，但是这样的计划潜在威胁着那些正致力于将来成功所需要的理论的个体调查者的基础。重要的是要面向这些应用工程的理论家留下空间并且更清楚地说明过去的成功以便对理论的支持能得到正确评价。计划管理人员应该支持应用、计算及理论的平衡业务组合，明确地表达出长期理论结果的重要性。

还应该通过新的中心和计划增强控制与数学的结合。基金机构应该考虑为那些有数学社团参加工作的控制科学的国家研究所提供资金，应该鼓励现有的数学研究所主办关于控制、动力学及系统的整年项目。

对理论的这种投资将给用于建造复杂系统以及严格训练下一代研究人员和工程师的系统的的设计方法学带来好处。

教育及延伸的新方法

正如这当中许多建议表明的那样，控制的应用正在扩大，而且对教育上提出了新的要求。控制社团必须继续通过整合过去40年的材料和框架统一和压实知识基库。同样重要，这些材料必须被制成更易为更多的广大潜在用户使用，远远超出传统库的工程科学学生和从业者，包括计算机科学家、生物学家、物理学家和医学研究人员。这些用户的技术背景与传统的工程学科中的比较常常是非常不同的，需要用新的方法进行教育。

专家小组相信控制原理现在是任何受过教育的科学家或工程师的背景的一个所要求的部分，而且我们建议团体和基金机构投资针对非传统的听众的控制概念和工具的传播的教育及延伸的新方法。

作为实现这个建议的首要步骤，应该为专家和非专家编订新课程和教科书。在一流的大学，控制也应该作为工程与科学课程必修部分，不仅包括机械的、电的、化学的及航空和航天工程，也包括计算机科学、应用物理学、以及生物工程学。同样重要的是这些课程强调控制的原理而不是仅仅提供能在某一特定领域使用的工具。

教育及延伸的一个重要因素是试验的继续使用及新实验室和软件工具的发展。这些比以往任何时候都更容易做到并且也更重要。实验室和软件工具应该被结合到课程中，包括超越他们目前的介绍性的控制课程的在高级的（研究生）课程工作中的应用的增加。就设计工具（如MATLAB工具箱）和实现（实时算法）而言，软件的重要性不能过分强调。

在教育方面增加与工业相互作用是另一个重要的步骤。这可以通过工业研究人员攻读一半由公司一半由大学支持的博士学位（全职）的合作博士计划来执行，并且为大学带来进一步理解实际问题的好处。另外，来自控制团体的工业领导人和执行者应该继续与更广泛的团体相结合并且帮助传达他们的顾客的需要。

采取的其他措施包括编订能够用来广泛教育公众的关于控制的新教材。这可能是在高中的生物、数学及物理课本中所包括的有关控制的一些章节，或者描述控制的历史、原理、成就和工具的多媒体光盘。解释反馈的原理的通俗读本，或者或许关于控制的一本“漫画书”，也应该被考虑。即将到来的IFAC 供工业使用的专业摘要也是教育的一条重要的途径。

把控制扩展到更广泛的团体的好处是可以增加对控制的使用性的意识，通过对其原来和工具的更广泛使用，增加控制的好处。严谨的设计原理的使用将导致更安全的系统、更短的开发时间以及更明晰的关键系统问题的理解。

结束语

控制领域有着丰富的历史和强有力的成功纪录并且影响着在商业上的、军事上的及科学上的应用。数学的严格使用的传统与强有力的与应用的相互作用相结合已经产生出一套在多种技术中使用的工具。未来产生影响的机会甚至比过去更多，而且该领域被恰当地定位为把它的工具的使用扩展到新的领域及应用中。

通讯、计算和感知技术的普遍深入将起动的很多新的应用，但是也将要求当今的理论和工具有相当可观的发展。控制界必须涵括新的，信息丰富的应用并把现有的概念推广应用到在决策的更高的水平上的系统中。随着新的、远期领域的对控制技术的开放，该领域接下来的十年肯定是硕果累累的。

对控制研究的投资的回报是实质性的。它们包括对可靠、有效及鲁棒地运作的系统的成功开发；可能通过生产过程的先进控制取得的新材料和装置；以及通过控制原理的使用增加对物理和生物学系统的理解。或许最重要的是那些在继续发展的个人，他们吸纳了系统观念而且在复杂的工程系统的建模、分析、设计和测试上提供技术领导。

编者按：

这篇文章转载于IEEE Control Systems Magazine (2003 April)，是由Richard M. Murray, Karl J. Astrom, Stephen P. Boyd, Roger W. Brockett, and Gunter Stein等5位教授为主要执笔人的一个专门小组（下面将对他们作一简要介绍）完成的，提出了控制科技在诸多方面的应用、发展和预测，很有参考价值。

作者简介：

1、Richard M. Murray：于1985年获得加州理工学院电机工程专业的学士学位并分别于1988年和1991年获得伯克利加利福尼亚大学的电机工程和计算机科学专业的博士学位。他目前是加州理工学院的机械工程学教授和

工程与应用科学部主席。他的研究兴趣包括应用于飞行器和机器人运动的机械系统的非线性控制，流体的主动控制及在推进系统的应用，以及非线性动力系统理论。

2、Karl J. Astrom: 毕业于瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院。任职于IBM, 1965年瑞典Lund大学任自动控制教授。从2002年一月开始担任圣芭芭拉加州大学机械与环境工程系的兼职教授。在自动控制方面他具有广泛的兴趣, 包括随机控制、系统辨识、适应性控制、计算机控制, 以及计算机辅助控制工程。

3、Stephen P. Boyd: 是韩国三星公司工程教授, 斯坦福大学电子工程系信息系统实验室的主任。他于1980年获得哈佛大学数学学士学位, 并于1985年获得伯克利加州大学电子工程与计算机科学博士学位。他的研究方向包括计算机辅助控制系统设计和控制中凸规划应用, 信号处理及电路。

4、Roger W. Brockett: 是哈佛大学应用科学部电子工程与计算机科学的教授。他专注于控制理论和应用的各个方面, 包括计算和控制的混合系统。是国家工程院院士。

5、Gunter Stein: 是美国明尼阿波利斯Honeywell公司的前合伙人及首席科学家。自从1969年加入Honeywell公司以来曾参与研发计划管理并在航天航空系统和控制技术方面作为一个独立的撰稿者。

地址: 北京市海淀区中关村东路95号 邮编: 100080

电话: 010-62544415 82673037 传真: 010-62620908

Email: wangh@iamail.ia.ac.cn , zdhxx@hotmail.com

