

网络化系统及其建模、分析、控制与优化

戴冠中¹ 郑应平²

¹(西北工业大学自动控制系 西安 710072)

²(同济大学电子信息学院 上海 200092)

(E-mail: daigz@nwpu.edu.cn; zhengyp@online.sh.cn)

摘 要 讨论网络环境下的复杂系统——网络化系统的特点及其研究内容,包括理论、方法与工具研究、中间件与应用软件研究、系统研究、应用研究和安全研究,着重讨论网络化系统的建模、分析、控制与优化问题.

关键词 网络化系统,复杂系统控制理论,建模,分析,控制,优化

中图分类号 TP312

TELEMATICS SYSTEM AND ITS MODELING, ANALYSIS, CONTROL AND OPTIMIZATION

DAI Guan-Zhong¹ ZHENG Ying-Ping²

¹(Department of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

²(College of Electronic Information, Tongji University, Shanghai 200092)

(E-mail: daigz@nwpu.edu.cn; zhengyp@online.sh.cn)

Abstract The telematics system is introduced, which is a complex system with the network. Its characteristics and research aspects including theory, methodology and tools, middleware, system design, application systems and system security are discussed. Especially, the modeling, analysis, control and optimization of the telematics system are emphasized.

Key words Telematics system, complex system control theory, modeling, analysis, control, optimization

1 引言

约 40 年前,数字计算机进入自动控制领域,计算机成为控制系统的控制器.具有计算机的控制系统称为计算机控制系统.计算机控制系统一经问世,它就成为自动控制领域中的研究热点.40 年来,计算机控制深刻地影响和推动着控制理论及其应用的发展.从理论上说,计算机控制是经典控制理论向现代控制理论过渡的催化剂,并且大大推动了现代控制理论

的发展. 从应用上说, 提供各种先进控制算法的计算机控制系统的大量应用, 大大推动了国家经济、社会、国防等领域中的自动化应用, 促进了国家工业化的发展.

20 世纪 80 年代后期与 90 年代, 计算机网络广泛进入自动控制领域. 一般而言, 这是大型的、复杂的系统, 除了实现控制功能外, 它往往还具有信息处理、管理、决策等等功能, 故统称为网络化系统. 当前网络化系统已成为国内外自动控制领域中的研究热点. 可以预计, 未来的几十年中, 网络化控制必将深刻地影响和推动着控制理论及其应用的发展. 从理论上说, 网络化控制必将大大推动已见端倪的复杂系统控制理论的发展. 从应用上说, 提供各种复杂信息处理的网络化系统的大量涌现, 必将大大推动国家经济、社会、国防等等领域的信息化应用, 促进国家的“以信息化带动工业化”的发展.

本文简述网络化系统的特点及其研究内容, 包括理论、方法与工具研究、中间件 (middleware) 与应用软件研究、系统研究、应用研究和安全研究, 着重讨论网络化系统的建模、分析、控制与优化问题. 我们期望本文起到抛砖引玉的作用, 促进我国控制领域的学者和工程技术人员密切注视网络化控制系统及复杂系统控制理论的发展, 大力投入对它们的研究与开发工作.

2 网络化系统及其特点

网络化系统是指网络环境下的复杂系统^[1~3]. 这里所说的网络主要指计算机网络 (Internet, Intranet 和军用专用网等), 也可以是大型电力网、城市交通网等等. 网络化系统有的文献上称为 Telematics System, 也有的文献上称为 Networked System.

从功能上说, 网络化系统往往具有综合功能 (如信息处理、控制、管理、决策等等), 但我们可以根据其所实现的主要功能, 称为网络化信息系统、网络化控制系统、网络化管理系统、网络化决策系统等等.

从应用上说, 网络化系统有电子商务系统、电子政务系统、远程教育系统、远程医疗系统、远程制造系统、网络机器人系统、大型电网系统、城市交通系统、军事上的 C4ISR 系统 (指挥、控制、通讯、计算机、情报、监视、侦察系统) 和 GIG 系统 (全球信息栅格系统) 等等.

网络化系统有下述特点. 1) 大型或巨型系统. 从以上所列举的典型的网络化系统可知, 网络化系统一般是大型系统, 甚至是巨型系统. 2) 复杂系统. 网络化控制系统除有一般复杂控制系统所具有的高维、强耦合、非线性、时变、多层次、随机性、不确定性、不完全性、多模式、变约束、多目标等等的复杂性外, 它还具有两个特殊的复杂性: (i) 地理分散, 因而有分散信息反馈、分布信息融合、分布计算与处理、分散控制与管理等等问题; (ii) 通讯问题, 包括通讯传输的延迟和突发性、数据包的丢失、路由器或通讯链路的故障、信息产生的随机性、网络链路状态的不确定性、网络全局知识的不完整性等等问题. 3) 海量信息处理. 网络化系统中往往面临比以往任何系统中所无法比拟的海量信息, 因而产生海量信息处理问题. 4) Cyberworld 的“虚拟性”和相对无序性. 全球互联网 Internet 的网络空间 (又称为 Cyberspace 或 Cyberworld) 中流动的不是物质, 没有物质的表现, 相反他们都是由纯粹的数据或信息所组成的空间. Cyberworld 的“虚拟性”产生了特有的对数据或信息的控制问题——网络控制问题; Cyberworld 的相对无序性, 使网络信息安全问题成为研究网络化系统中极其重要的问题. 5) 3C 学科交叉. 网络化控制系统是 Control, Computer, Communication 等学科相交

叉的产物.

3 网络化系统的研究内容

网络化系统的研究内容如图 1 所示,它包括:网络与计算平台的构建;理论、方法与工具研究(即网络化系统的建模、分析、控制与优化);中间件(middleware)和应用软件的研究;系统研究;应用研究;安全研究等.

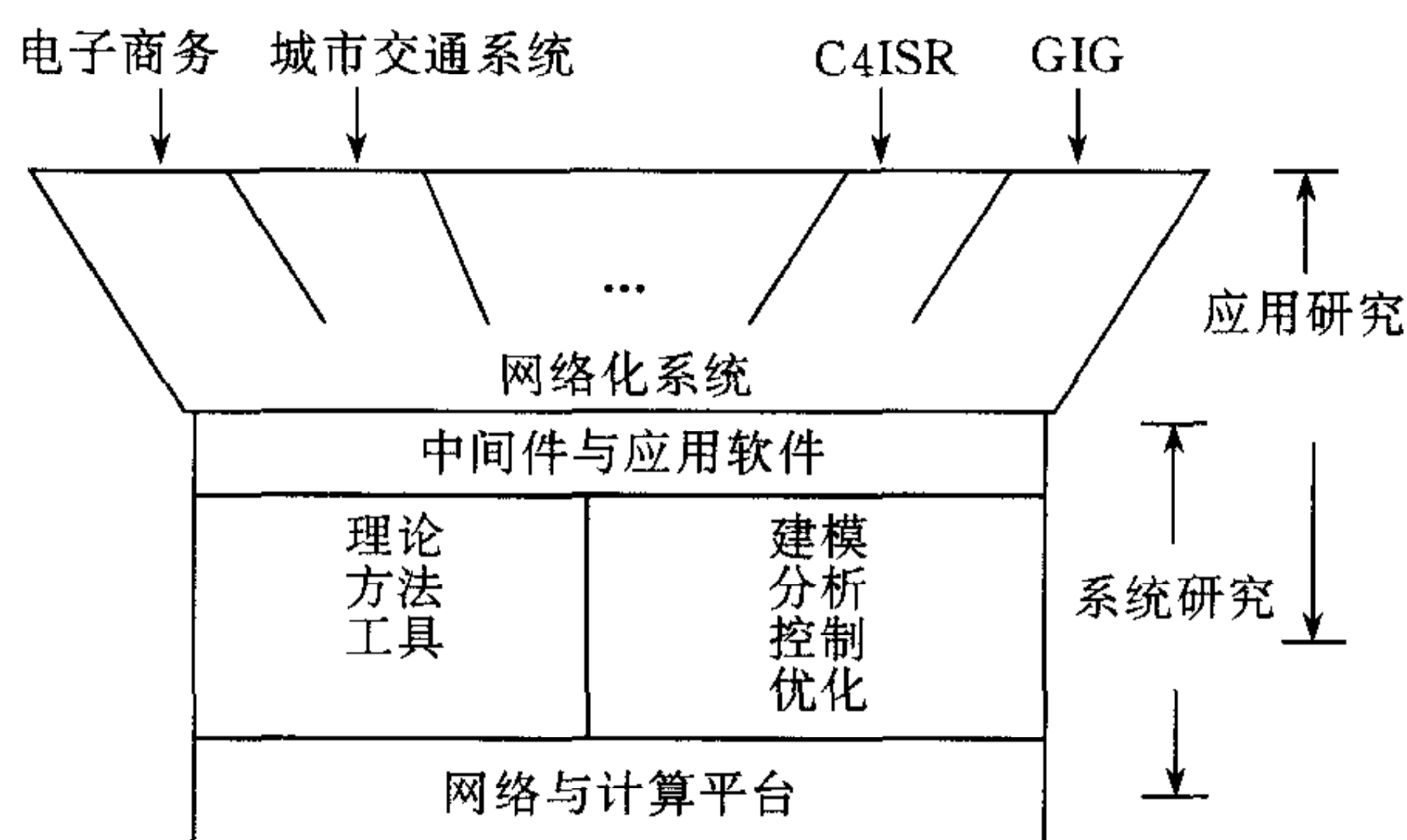


图 1 网络化系统的研究内容

由此可知,网络化系统的研究与开发要由跨学科的多方面人才来完成.下面简述各部分的研究内容,但略去“网络与计算平台的构建”部分.

4 网络化系统的理论、方法与工具研究

这就是指网络化系统的建模、分析、控制与优化问题^[4~9].

1)建模问题.包括:网络体系结构模型及其机制;大规模高速网络传输性能模型(非Markov过程的复杂系统);多目标网络性能和网络服务质量QoS描述的模型;网络行为量化描述及动态特性建模;高速信息网络业务源模型;大规模网络拥塞控制的建模;复杂媒体信息建模;宽带无线网业务特性与模型、QoS结构与模型;网络环境下信息截获的基础问题和模型;各种网络化应用系统的建模等等.

2)分析问题.包括:大规模高速网络体系结构分析;大规模高速网络传输控制性能模型分析;网络行为数据过程;网络行为的动力学分析(高度的非线性动力学特性);网络业务流的统计分析;网络信息的智能获取与分析过程(网络搜索引擎、网络文本信息摘要、网络信息过滤、网络数据仓库、网络数据的知识发现等);海量信息处理方法(data mining, data fusion, data warehouse),基于模型的信息处理方法,基于知识的信息处理方法;各种网络化应用系统的分析等等.

3)控制问题.包括:网络拥塞控制(网络组播拥塞控制策略和算法、TCP拥塞控制及其改进、连续媒体流拥塞控制机制、高效与可扩展的拥塞控制的机制、无线IP网中流量控制与拥塞控制等);网络QoS控制(复杂网络服务质量QoS控制与管理策略、有效和可扩展的QoS控制方案和算法、无线IPQoS控制的结构与算法及其实现机制等);复杂涌现行为控

制(如业务流的自相似分形结构和流量控制);路由器(特别是高端路由器)调度算法和队列管理策略;具有通讯链路的控制系统的分布式估计、控制与优化的理论与方法;网络环境下的先进控制系统理论与方法;各种网络化应用系统的控制策略与方法等等。

4)优化问题. 包括:网络传输与处理中系统联合优化理论与方法;基于优化理论的拥塞控制;网络管理质量的评价模型、指标体系及优化方法;网络服务质量 QoS 的评价模型、指标体系及优化方法;各种网络化应用系统的优化策略与方法等等。

这里我们强调一下,在网络化系统的研究与开发中,理论、方法与工具的研究,亦即网络化系统建模、分析、控制与优化问题的研究的重要性. 而这些正是控制领域的学者和工程技术人员大有作为的研究舞台。

我们以军事上的 C4ISR 和 GIG 系统为例来说明. C4ISR 和 GIG 都是集信息处理、控制、指挥和决策等功能为一体的巨型网络化系统. 从 C4ISR 系统将逐步演化到 GIG 系统的历程可以看到,复杂网络化系统的建模、分析、控制与优化问题的重要性. 美国军方提出,必须要从“信息优势”转化为“决策优势”,最后达到“作战优势”,亦即只有以对手来不及反应的速度作出更好的决策,并付诸实施,“信息优势”才能有效地转化为“作战优势”. 因此,网络化系统必须强调综合集成技术、海量信息处理和信息融合技术、现代控制与优化方法、人工智能技术等等的应用. 美国于 2001 年公布“全球信息栅格(GIG)体系结构”1.0 版,其实质是完成传感器网、计算机网和武器平台网的综合集成,达到栅格内的时域、空域的一致以及栅格间的协同工作,并实现“网络中心战”。

再以网络化系统的智能化为例来说明. 网络化系统必须要将信息转化为知识,由知识转化为智能,而网络化系统的建模、分析、控制与优化问题,正是达到“信息—知识—智能”一体化,建立高性能、高效的网络化系统的关键问题. 例如,一个电子商务系统是在分布式环境下的大型网络化系统,对它的系统模型,开发商品快速搜索技术,利用分布式计算提高系统可移植性、可扩展性,以及交易模式及其优化问题等等研究,都是建立高性能、高效的电子商务系统的关键问题。

5 网络化系统的中间件、系统研究与应用研究

网络化系统的中间件的作用是屏蔽底层异构网络的细节,向应用层提供与应用领域相关的增强服务。

中间件的体系结构及实现机制方面的主要研究内容包括:体系结构;特征服务、多媒体资源服务及面向多种网络化应用系统服务;中间件中多功能实体之间的控制协议、互操作性;应用部署算法研究;中间件安全性研究等等。

各种网络化系统的系统研究与应用研究内容包括:网络化系统的构建,其中包括系统整体方案,计算与网络平台,相关的理论、方法与工具,相关的仿真与可视化技术,中间件与应用软件等;Telescience 和 Teletechnology,包括研究 Telecontrol, Telemesurement, Telem-anagement, Telemanufacturing 等等有关的理论、方法、工具、仿真技术与应用软件等。

以城市智能交通系统(ITS)中的道路运输网络化系统(RTTS)为例,RTTS 可使道路交通更为有效和安全,更充分发挥道路系统的潜力、容量,避免工程浪费,降低运费,减少污染. 为实现 RTTS,其应用研究包括:确定系统的效益和应用指标;基本技术的标准化;实现

RTTS 实际潜能的计划;工商服务及个人用户的接受和使用等等.

再以 C4ISR 系统中主动技术(事件驱动)为例,其监控、协同、适应问题包括:实时监控;例外错误处理及功能恢复;瞬时状态输出;协同工作及协同问题求解;实时处理;自适应和自学习等等.

6 网络化系统安全研究

前面已经指出,网络化系统的安全问题是网络化系统成功与否的极为重要的问题.

网络信息的安全问题总是伴随着网络信息的攻击问题,它们是矛与盾的关系.从网络信息攻击来说,有三个层次:1) 病毒、黑客(hacker)和非法入侵者(cracker);2) 网络恐怖主义(Cyber Terrorism);3) 信息战(Information Warfare).从一般意义上说,“控制”即是“对系统施加作用,使系统按一定目的运行”.因此,不论是网络信息攻击,或是网络信息防御(安全),都可以看成为网络空间(Cyberworld)中对数据或信息的控制作用.于是,控制领域的学者和工程技术人员,可以在网络信息的攻击与防御方面有所作为.

网络信息安全包括网络安全与信息安全两个方面.网络安全问题主要包括:网络安全的各种技术(高性能防火墙、VPN 网关、网络入侵检测系统、安全审计、安全漏洞检测、CA 服务器等等);网络安全平台整体解决方案,即系统级的安全问题(系统级可用性、应急反应性、容错性、可恢复性等等).

这里指出,网络安全问题中面向大规模网络的分布式入侵检测系统就是一个典型的复杂智能控制系统.该系统的复杂性体现在分布式、多 Agents 体系结构,而智能化的检测方法(专家系统方法、模糊逻辑方法、神经网络方法等等)和智能化的汇总决策则体现了智能控制方面.

信息安全问题主要包括:信息保密技术(见图 2)和信息隐藏技术(见图 3),两者都是以密码技术为核心.

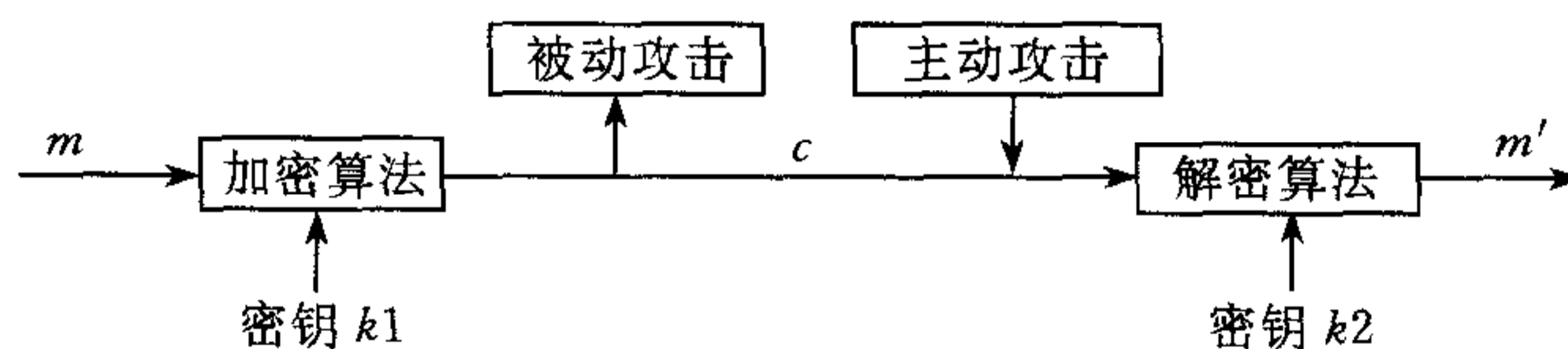


图 2 加密信息的传输

图 2 表示了加密信息的传输,其中 m 是发送端发送的明文, c 是 m 经加密算法后在公开信道上传输的密文, m' 是 c 经解密算法后在接受端获取的信息,一般 $m' = m$. 根据密钥体制的不同,有对称加密、解密算法和非对称加密、解密算法.前者加密密钥 k_1 与解密密钥 k_2 是相同的,而后者则是不同的.在现代密码理论中,广泛用到数论、概率统计论、信息论、计算复杂性理论、混沌控制方法、分布式并行化密码技术、量子密码技术等等.

图 3 表示了隐藏信息的传输,其中 m 是发送端发送的明文, M 是 m 经加密算法后的密文.密文 M 又经嵌入算法后嵌入至隐藏载体(如图像、文本、音频、视频等多媒体) c 之中,在公开信道上传输的是隐蔽信息 s .接受端则进行相反的过程,即通过提取算法提取 s 中所隐藏的信息 M' ,再经解密算法后在接收端获取信息 m' .一般 $M' = M$, $m' = m$.图中加密、解密

算法的密钥分别为 k_1 和 k_2 , 嵌入、提取算法的密钥分别为 K_1 和 K_2 . 同样地, 我们有对称嵌入、提取算法和非对称嵌入、提取算法, 前者 K_1 和 K_2 是相同的, 而后者则是不同的. 由上可知, 加密技术隐藏了信息的内容, 而隐藏技术则隐藏了信息自身. 在信息隐藏问题中, 还广泛应用计算机图像、计算机视觉和多媒体信息技术等等.

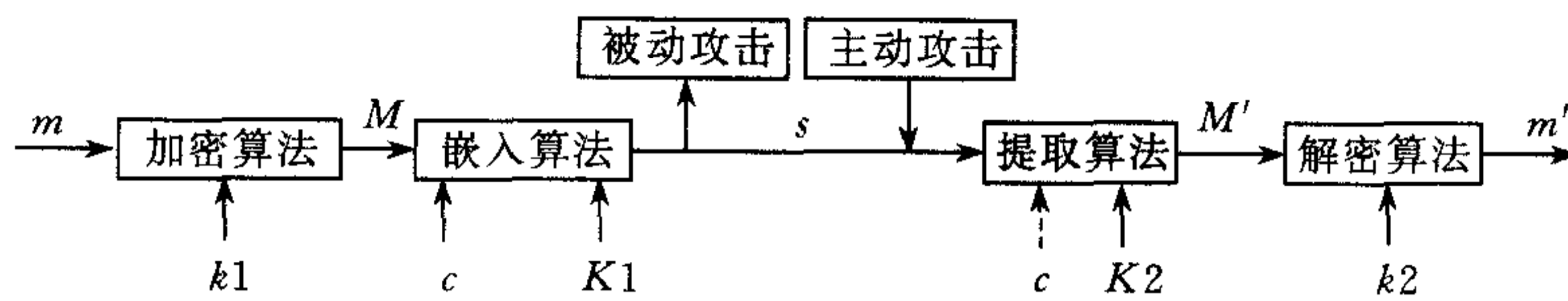


图 3 隐藏信息的传输

7 结语

网络化系统是人类走向信息化社会的标志性系统, 它一般是大型或巨型的复杂系统. 网络化控制系统是 3C (Control, Computer, Communication) 学科交叉的产物. 网络化系统的建模、分析、控制与优化问题, 是建立高性能、高效和智能化网络化系统的关键问题, 它们都属于复杂系统控制理论的范畴. 因而, 这为控制领域的学者和工程技术人员提供了一个充满挑战的、富有魅力的研究舞台. 网络安全与信息安全问题是网络化系统成功与否的重要问题, 这里也有控制领域的学者和工程技术人员颇感兴趣的一系列课题.

参 考 文 献

- 1 Ragi R S. Smart networks for control. *IEEE Spectrum*, 1994, 49~55
- 2 Hu H S, Yu L X *et al.* Internet-based robotic systems for tele-operation. *Int. J. Assembly Automation*, 2001, **21**(2):1~10
- 3 Lian F L, Moyune J R, Tibury D M. Performance evaluation of control networks; Ethernet, control net and device net. *IEEE Control Systems Magazine*, 2001, **21**(1):66~83
- 4 Walsh G C. Asymptotic behavior of nonlinear networked control systems. *IEEE Transactions on Automation Control*, 2001, **46**(7):1093~1097
- 5 Walsh G C, Ye H. Scheduling of networked control systems. *IEEE Control System Magazine*, 2001, **21**(2):57~65
- 6 Zhang W, Branicky M S, Philips S M. Stability of networked control systems. *IEEE Control Systems Magazine*, 2001, **21**(1): 84~99
- 7 Low S H, Paganini F, Doyle J C. Internet congestion control. *IEEE Control Systems Magazine*, 2002, **22**(1):28~43
- 8 Gibbens R J, Kelly F P. Resource pricing and the evolution of congestion control. *Automation*, 1999, **35**:1969~1985
- 9 Rueda A. An approach to quality of service control in telecommunication networks. In: Proc. of the IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Calgary, Canada: 1996, **2**:936~965

戴冠中 哈尔滨军事工程学院航空系毕业, 现为西北工业大学教授, 研究领域为复杂系统控制理论、网络化系统等.

郑应平 简介见本期.