

# 探索智能控制系统的理论基础

田 华 吴启迪

(同济大学电气工程系 上海 200092)

**摘 要** 在为一般控制系统建立了一个新框架的基础上,提出了智能控制系统(ICS)的人机合一认识论及一般结构,并建立了 ICS 中控制综合的形式化表述.

**关键词** 智能系统,智能控制系统,复杂系统,人机合一认识论,系统开发.

## 1 引言

1971 年,傅京孙教授最早公开指出了一个新的研究领域,这就是智能控制系统(Intelligent Control Systems——ICS)<sup>[1]</sup>.近年,ICS 在国内外都受到广泛注意<sup>[2-10]</sup>. ICS 是技术、社会与人类发展至今所形成的一类最复杂和最具挑战性的控制系统.其典型例子是人的脑-体系统、智能机器(特别是机器人)系统,人-机结合(如人驾车)系统、(控制、调度、资源调配、任务分解、协调)集成化制造系统、(调节、操作控制、调度、计划、起停安全连锁、故障检测诊断排除)集成化工业过程系统、(控制、监督、诱导、调度)集成化城市交通系统、(设备监控、物业管理、通信、办公)集成化大厦系统等.

本文将探索 ICS 的理论基础.

## 2 一般控制系统的新概念框架

其信息流动按反馈与控制机制组织的系统中包括两部分,即控制器系统和被控系统.在不致混淆的情况下,这样的系统称为控制系统.控制系统的开发,亦即控制问题的求解,不外乎两条途径,即直接途径与间接途径.

基于间接途径,一个控制系统的生命周期涉及需求调研、被控制系统的建模、计算机软硬件支持系统的配置、控制器系统综合、实现控制器系统的计算机软件的设计、编程与调试、运行与维护、系统评价.核心是系统综合.所谓系统综合,亦即反馈与控制的综合,指的是一个控制器系统是个受约束动态最优化问题的解,其中的约束条件自然包括相应被控制系统的模型.通常的系统综合理论如最优控制、鲁棒控制、随机控制、模型参考自适应控制、自校正控制、模型预测控制等.在此生命周期之前,所要求的控制器系统并不存在,但之后,所需系统存在.分析与设计不但处于先后不同的两个阶段,而且是对不同的系统,即被控制系统与控制器系统分别实施作用的.这种开发方法常用于伺服/调节系统.

基于直接途径,一个控制系统的生命周期涉及需求调研、原有人动系统的分析、计算机软硬件支持系统的配置、实现原有人动系统的计算机软件的设计、编程与调试、投运与维护、系统评价.核心是原有人动系统中信息流动的组织机制的计算机化.在此生命周期前后,系统分别以人动和计算机化的形式存在.虽然分析与设计分别处于两个先后阶段,但都是对同一个系统实施作用的,只是分析是针对该系统的自然或人动形式进行的,而设计则是针对该系统的计算机化形式进行的.这种开发方法常用于顺序控制系统和计算机支持的信息管理系统.

### 3 人机合一认识论

智能系统是一类复杂系统,其确切定义很困难.下面给出一递归性定义:

(i) 人的脑-体系统是一类基本的智能系统;

(ii) 上述系统的一种完全实现,如机器人,是智能系统;

(iii) 在水平方向,一个以智能系统为其子系统的系统,是智能系统;

(iv) 在垂直方向,一个其上层管理、监督、控制着其下层,且其上层是一个或一组智能系统的系统,是智能系统.

ICS 可看作是其信息流动按反馈与控制机制组织的智能系统.由于反馈与控制是现行系统中信息流动进行组织的两种强有力、有效和普适的机制,因此,大多数的智能系统同时也是 ICS.

人机合一有三种具体涵义:

(i) 人与机器平等同一 人的脑-体系统和智能机器系统中的信息流动组织采用了同一种反馈与控制机制;

(ii) 人-机结合 人脑控制机器与计算机控制肢体;

(iii) 人/机混杂集成 人与机器平等、自由活动,人/机在计算机软硬件系统的集成环境支持下实现协同作.

### 4 ICS 的一般结构

今天,待求解的控制问题变得越来越复杂<sup>[11]</sup>.这就要求必须开发相应越来越复杂的控制系统. ICS 是复杂性急剧增加了的控制系统,根本目的在于求解复杂的控制问题.

对于 ICS,从其可以宏观观测的整体系统到已经认识得比较清楚的子系统之间,系统结构的层次很多,但中间的层次又不认识,甚至连有几个层次也不清楚<sup>[12,13]</sup>.

在组织结构上,ICS 是这样一类系统,即在垂直方向上,划分为若干级;在水平方向上,是自下而上的获取世界的各种级别的数据的多传感信息融合过程,与自上而下的子任务指令综合过程的交织.从感知到动作是一个环,而环本身再作为分层的各级和分布式的各结点,这就是 ICS.一句话,ICS 是一种分层、嵌套、分布式的从感知到动作的联结.对于复杂控制问题,为什么要采取这种控制系统结构,这只是模仿人求解复杂控制问题时的结构的一个直觉性结果.

在动态行为上,ICS 是一种规整时钟驱动与离散事件驱动相混杂的动态系统.在组成

上,ICS 既含有常规控制系统的成分,又含有信息管理系统的成分.从技术实现上看,ICS 表现为 CIX,即计算机集成的工程系统(Computer Integrated X systems),这里 X 可以是机器、制造、工业过程、城市交通、大厦等.

### 5 ICS 中控制综合的形式化表述

假设第  $h$  级感知到的广义数据为  $\prod_{s=1}^{s(h)} \prod_{t_s=1}^{t_s(h)} \text{WD}(h, s, t_s)$ ,  $s$  为空间指数,  $t_s$  为时间指数,

$s(h), t_s(h)$  为正整数,  $\Omega$  表示序列. 第  $h$  级接受(需完成)的子任务指令为  $\prod_{f=1}^{f(h)} \prod_{g_f=1}^{g_f(h)} \text{STC}(h, f, g_f)$ ,  $f$  为空间指数,  $g_f$  为时间指数,  $f(h), g_f(h)$  为正整数. 系统接受的总任务指令为  $\prod_{g_1=1}^{g_1(H)} \text{STC}(H, l, g_1)$ . 待综合(决策)的是  $h$  级应输出的子任务指令  $\prod_{f=1}^{f(h-1)} \prod_{g_f=1}^{g_f(h-1)} \text{STC}(h-1, f, g_f)$ . 当  $h$  级以下的各低级执行了它所综合的子任务指令后,总任务指令就得到了真实完成.

性能指标,是关于综合出的低级指令能够完成上级要求的高级指令的程度的一个计算测度.

$$\text{Perf}(h) = \text{Perf} \left[ \prod_{f=1}^{f(h)} \prod_{g_f=1}^{g_f(h)} \text{STC}(h, f, g_f) \right], \prod_{s=1}^{s(h)} \prod_{t_s=1}^{t_s(h)} \text{WD}(h, s, t_s). \tag{1}$$

$T_{ht_s}$ , 表示时间计数器(时间指数)从  $t_s$  跳变到  $t_s+1$  所需的时间. 由于这一跳变事件是由其它各种相关的离散事件驱动的,因此,  $T_{ht_s}$  是一随机变量. 其均值和方差为

$$\bar{T}_{hs} \triangleq E\{T_{ht_s}\} = \frac{1}{t_s(h) - 1} \sum_{j=1}^{t_s(h)-1} T_{hj}, \tag{2}$$

$$\bar{T}_h = \frac{1}{s(h)} \sum_{s=1}^{s(h)} \bar{T}_{hs} \tag{3}$$

$$\tilde{T}_h \triangleq E\{[T_{ht_s} - \bar{T}_h]^2\}. \tag{4}$$

用 Satisf 表示求满意解的算法过程. 则 ICS 中的控制综合问题可形式地表述为

$$\text{IC}(H): \prod_{g_1=1}^{g_1(H)} \text{STC}(H, l, g_1), \tag{5a}$$

$$\begin{aligned} \text{IC}(h): & \\ & \text{Satisf} \quad \text{Perf}(h) \\ & \text{STC}(h-1, f, g_f) \\ & f=1, \dots, f(h-1) \\ & g_f=1, \dots, g_f(h-1) \end{aligned}$$

s. t.

$$\begin{aligned} & \text{IC}(h+1) \\ & \bar{T}_h < \bar{T}_{h+1} \\ & \tilde{T}_h < \tilde{T}_{h+1} \end{aligned} \tag{5b}$$

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^{s(h)} T_{hs} &> \sum_{s=1}^{s(h+1)} T_{h+1,s} \\ &\vdots \end{aligned}$$

可见,是一个按分层指数嵌套递归地求满意解的过程.

如果  $H=1, \tilde{T}_h \equiv 0$ , Satisf 取为通常的 Min, Perf( $h$ )取为

$$J = \int_{t_0}^{t_f} [X(t) - X(t)^d]^T Q [X(t) - X(t)^d] dt. \quad (5)$$

式中  $X(t)$  和  $X(t)^d$  分别表示被控系统的实际和期望状态,  $Q$  是非负对称阵,  $t_0$  和  $t_f$  是起始和终了时间. 则得到一种通常熟知的最优控制问题描述. 可见,通常伺服/调节系统中的控制综合是 ICS 中的控制综合的一种蜕化形式.

### 参考文献

- [1] Fu K S. Learning control systems and intelligent control systems: An intersection of artificial intelligence and automatic control. *IEEE Trans.*, 1971, AC-16(1):70—72
- [2] Antsaklis P. Defining intelligent control. *IEEE Control systems Magazine*, 1994, 14(3):4—5, 58—66.
- [3] 戴汝为. 智能控制系统. 模式识别与人工智能, 1990, 3(3):1—7.
- [4] 罗公亮, 卢强. 智能控制与常规控制. 自动化学报, 1994, 20(3):324—333.
- [5] 田华, 蒋慰孙. 智能控制系统的结构模型及其形式化. 控制与决策, 1993, 8(2):116—123.
- [6] 田华, 席裕庚, 张钟俊. 试论 1-型智能控制系统. 信息与控制, 1994, 23(2):101—107
- [7] 田华, 席裕庚, 张钟俊. 间歇反应釜的智能控制系统. 系统工程与电子技术, 1995, 17(4):73—80.
- [8] 田华, 席裕庚, 张钟俊. 建立智能控制系统的结构模型. 系统仿真学报, 1995, 7(1):28—35.
- [9] 田华, 吴启迪. 国内外智能控制系统发展概况. 高技术通讯, 1995, 5(9):59—62.
- [10] 田华, 吴启迪, 张仲俊. 走向智能控制系统. 微计算机信息, 1996, 12(2):3—7.
- [11] 黄琳, 秦化淑, 郑应平, 郑大钟. 复杂控制系统理论: 构想与前景. 自动化学报, 1993, 19(2):129—137.
- [12] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论. 自然杂志, 1990, 13(1):3—10.
- [13] 钱学森. 再谈开放的复杂巨系统. 模式识别与人工智能, 1991, 4(1):1—4.

## EXPLORING THE THEORETICAL FOUNDATION UNDERLYING INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS

TIAN HUA WU QIDI

(Department of Electrical Engineering Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract** On the basis that a new framework is proposed for general control systems, epistemology of man machine unification and general structure are proposed, and formal formulation of the control synthesis is developed for intelligent control systems.

**Key words** intelligent systems, intelligent control systems, complex systems, epistemology of man machine unification, systems development

田 华 男, 1992 年在华东理工大学自动化研究所获工学博士学位. 1986 年至 1994

年在四川轻化工学院电子工程系任教,1992至1994年在上海交通大学自动化系任博士后研究人员,现任同济大学电气工程系副教授,智能控制系统研究室主任.研究兴趣为智能系统、复杂系统及系统开发理论方法等.至今已发表学术论文50余篇.

**吴启迪** 女,1985年在瑞士联邦苏黎世理工学院电子工程系获工学博士学位.现任同济大学教授(博士生导师)、校长、CIMS研究中心主任;国家八六三计划自动化领域CIMS主题09专题专家,中国自动化学会教育工作委员会、智能自动化委员会委员.研究领域为智能自动化及CIMS等.至今已发表学术论文60余篇.

\*\*\*\*\*

### (上接第8页)

**Submission of Papers:** The working language of the conference is **English**. 1000-word extended summaries are solicited. Submissions should be formatted as follows: First page: title, authors, mailing address, phone and fax numbers, and electronic mail address of each author (please designate one author for correspondence), preferred topical and subject areas. Second page: title, authors' names and affiliations, **100 word abstract**. Third and succeeding pages: **Paper Proposal** plus references, tables, and figures. Submit five copies of each, in **English**, to Program Co-Chairman:

Prof: Zhi-Qiang Liu, Department of Computer Science, The University of Melbourne,  
Parkville, Victoria. 3052, Australia, Tel: 61-3-9287-9124, Fax: 61-3-9348-1184  
E-mail: zliu@cs.mu.oz.au

**For submissions inside China**, submit *directly* to Program Co-Chairman:

Prof. Lizhu Zhou, Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing, 100084,  
The People's Republic of China, Tel: 86-10-62785601, Fax: 86-10-6256-2463,  
E-mail: dcszlz@mail.tsinghua.edu.cn

**For further information contact**

Prof. Richard Zurawski, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 7-22-1  
Poppongi, Minato-ku, Tokyo 106, Japan Tel: 81-3-3402-6231, Fax: 81-3-3423-1484,  
E-mail: zurawski@vss.iis.u-tokyo.ac.jp