

后现代控制理论

杨泰澄 英国塞瑟克斯大学

这是一篇中级科普微文章，读者对象包括理工科大三大四及以上学生。如果你已经学过大学的控制课程，知道什么是传递函数（经典控制理论）和状态空间法（现代控制理论），那么我将向你介绍后现代控制理论。在这一新的领域内，下文将提到的一篇2016 世界控制与决策大会上的得奖论文也是有明显局限的。为了帮助国内大学生和研究生尽快进入这一领域，建议由国家有关部门组织编撰和出版一本适合研一用的后现代控制理论教科书，将近年内很多顶级期刊上 Preliminary 的内容编入教科书，帮助研究生尽快进入实质性科研。适合这一水平和内容的国外

教科书笔者也只见到一本，但它没有基于后现代控制理论的新概念（将在下面介绍）及工程应用。国内编的教科书将是后来居上，更为先进和实用。

经典控制理论和20世纪60年代发展起来的现代控制理论研究“二维控制问题”，可以用图1示意。

其中的一维是被控对象的特征，可以从简单的低阶系统到复杂的非线性系统。另一维是控制器的特征（我们将观测器包含在控制器内），也可以从简单到复杂。随着大系统特别是网络化系统应用的发展，上述框图已不适用，而应以图2代之。其中，代表设计单个控制器的图1只是图2中的一个子系统（在非工程网络系统中，又常被称为智能体）。

在图2中，对应于大多数工程系统，子系统之间有物理关联，分布式协调控制又引入信号关联。子系统之间的

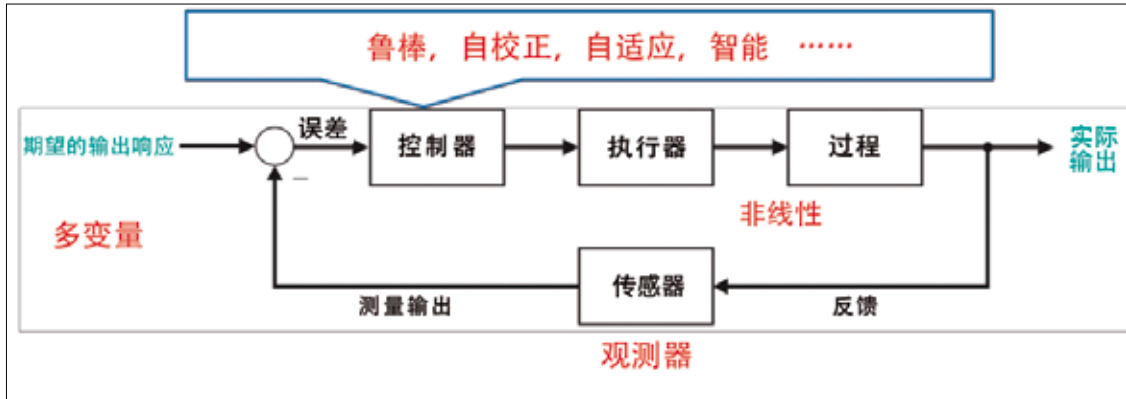


图1 二维控制框架内设计单个控制器

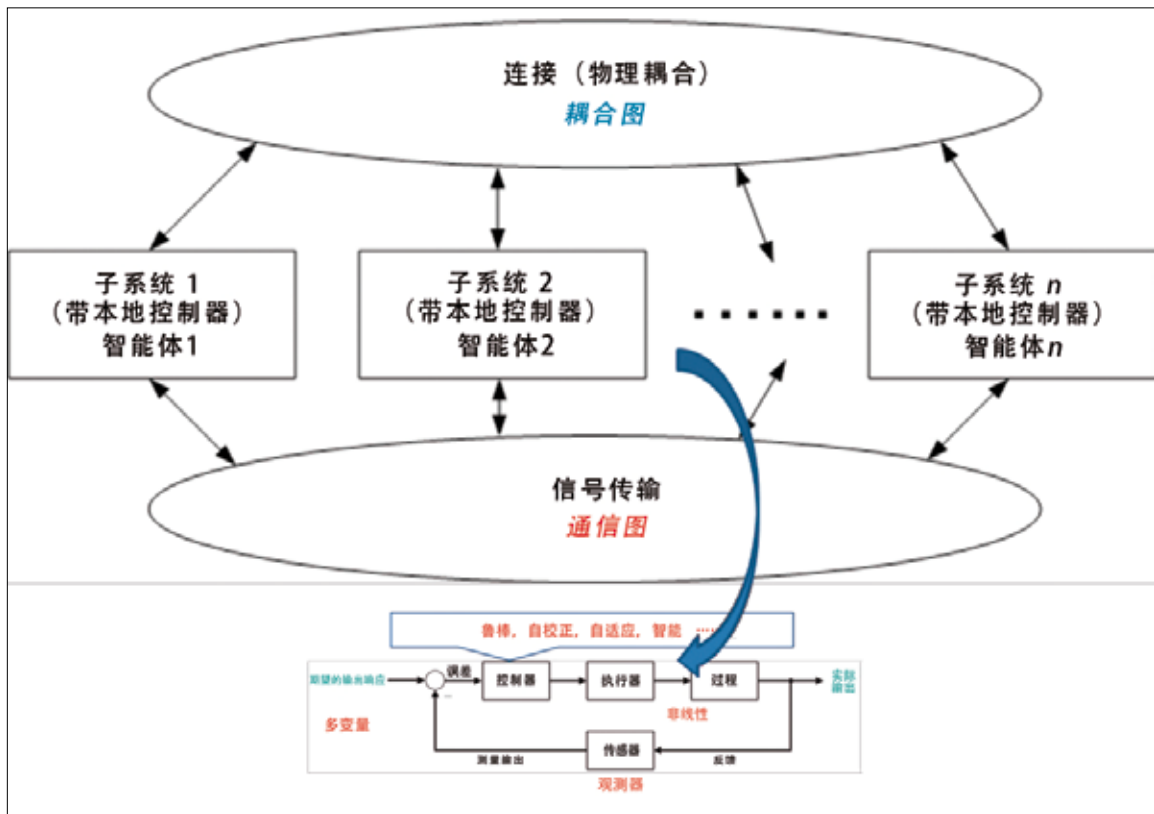


图2 三维控制框架内设计多个控制器及其分布式协调控制

关联是系统中新的一维，通常用图论中的工具来描述和分析。图2可以看作是物联网和后现代控制理论的方框图。后现代控制理论既是现代控制理论的延伸，又有实质性的不同。例如最基本的稳定性定义，在现代控制理论中是无论初始条件如何，最后收敛到原点。在后现代控制理论中，稳定性意味着所有子系统中的相应变量收敛到共同值（或保持其相对差值不变），共同值可以是非零，且可以是时变的。可控性是控制系统中另一个重要基本概念，后现代控制理论中可控性可以认为是由2011一篇自然杂志上的文章^[1]定义的，在2017的另一篇文章^[2]中又有所发展。

网络化系统控制已有很多研究和专著，适合研一水平的国外教科书笔者也只见到一本[3]。在下表中，“二维”一栏对应于Modern Control Theory这类教科书中的典型章节，“三维”一栏中是[3]中的对应后现代控制理论的章节。[3]中还缺了后现代控制理论框架下“可控性，可观性，控制器观测器的分离定理”两本书的对比见图3。为了帮助国内大学生、研究生尽快进入这一领域，建议由国内专家出一本适合研一用的后现代控制理论教科书，借鉴并超越已有的教科书^[3]。

后现代控制理论，特别是在工程领域的应用，还有许多工作可以做。举例来说，由2016年CDC大会评出的一篇得奖文章^[4]中有很好的理论结果，并成功应用到两个例子：社交及传染病的网络传播特性，但该文仍有明显局限性。文中用到

的另一个例子涉及电力系统中同步发电机的模型，但在文献[4]的V.B一节提到：“we approximate the generator dynamics with a first-order equation”。大家知道，控制中常对模型实行降阶，但二阶模型（典型响应是振荡型）和一阶模型（典型响应是指数型）是有本质区别的，用一阶模型来描述电机动态远离实际。在社交，生物等网络系统中，子系统的动态是零阶或一阶，而且没有物理关联。因此仅仅将[4]中的成果扩展应用到工程领域，就有不少有意义的工作可以做。国内外曾一度认为控制研究在走下坡路，个人认为后现代控制理论的研究和应用及其结合物联网的广泛推广才刚刚起步，前景无量。希望有更多年轻人加入理论研究和应用开发的团队中。

	二维	三维
	现代控制理论	网络化系统（物联网）控制理论
	矩阵	2, 3（图论），4, 6, 8
	状态方程（连续）及解	7
	状态方程（离散）及解	5
	可控性，可观性，控制器观测器的分离定理	一些文章（牵引控制）
	稳定性及收敛	10
	时变系统	11
	随机系统	12
	非线性系统	13, 14

图3 用“二维”和“三维”角度来对比两本教科书

参考文献

- [1] Nature: “Controllability of complex networks” , vol. 473, pp. 167–173, May 2011.
- [2] Nature Scientific Reports: “Physical controllability of complex networks” , Article No: 40198 (2017).
- [3] “Lectures on Network Systems” (可从 <http://motion.me.ucsb.edu/book-Ins/> 下载)
- [4] “Controllability Metrics Limitations and Algorithms for Complex Networks” , IEEE Transactions on control of network systems, March 2014, pp. 40–52.