

自抗扰控制研究的几个切入点

高志强

Version 1, 2013 年八月三日 (根据反馈, 将不断更新)

自抗扰控制是科学院系统所韩京清研究员创立的一门独特的学问。为了便于入门, 我给大家 (即 qq 群 128464029 上的同学和老师), 根据不同的需要, 建议下面几个切入点。所提到的文献和仿真程序一并打包, 放在 qq 群共享里面。

1. 了解一门简单、有效、好用的控制技术

自抗扰控制唯一的参考书是韩老师的《自抗扰控制技术》【1】, 是他毕生劳动的结晶, 自抗扰控制的大全。他未能完成的心愿是再写一本助人入门的小册子。不过韩老师在书中也提到了我们在 2003 的工作【2】, 依据线性、参数化的形式, 使自抗扰控制器的调参得以简化。【2】文在 qq 的群共享里面。对于初学者我建议以下的阅读顺序:

1) 《自抗扰控制技术》一书的前言 (值得反复读); 第一章 (读懂 PID); 4.3 扩张状态观测器 (关键概念, 细读); 第五章中关于自抗扰控制器的结构 (粗读)。第六章应用 (粗读)。

2) 文【2】第四节 (Section IV)。重复例 4.1 的仿真结果。你会发现这是一个很奇妙的控制器: 简单、有效、好用, 而且不用建模。重复这个仿真实际很容易, 但是你可以偷点儿, 用包内的程序 ([Motion_acc03.mdl](#), [tuning.m](#))。

目前国内还有不少自抗扰控制的论文简单地拷贝【1】中的公式, 常常遇到参数整定的困难。于是各种优化、神经网络、模糊等等算法就掺和进来了。不是不能用, 而是要先把基础打好, 看看简单的基础算法能干什么, 再决定要不要和其它算法结合使用。如果如上所说的那样把文【1】和文【2】结合起来读, 然后做做仿真, 也许会事半功倍, 顺利入门。入门后可考虑怎样解决一些工程问题。这时就要看你一方面是不是对自抗扰控制的基本原理理解了, 而不是简单地套用文【1, 2】的公式; 另一方面是不是抓住了工程问题的要害。

2. 解决不确定、时变、非线性、多变量等问题的另类方法

自抗扰是个粗略的框架, 粗略才能适用面广。在这个框架里, 系统的内扰、外扰对输出的总体影响要能等效为一个输入通道的不确定量; 而这个不确定量是可以通过输入输出观测到的。为什么一定要在输入通道呢? 因为一旦观测到后, 就可以用输入量把它消掉。消掉了, 问题不就简单了吗? 事实证明, 对付不确定、时变、非线性、多变量等问题, 自抗扰都有独到之处。比如在多变量解耦控制方面, 【3】显示了自抗扰控制天然的解耦特点; 【4】把它用到 NASA 飞机引擎控制; 【5】讨论了它的一般性, 以及在过程控制中的应用; 【6】介绍了一个工厂解耦控制导致节能的例子。类似这样的例子在其他问题上还有很多。比如在非线性控制问题上, 有饱和、回滞、摩擦力等问题。它们都可以转换为扰动的观测、相消问题, 得到简单、有效、好用的解。

当然，自抗扰控制不是万能的。常有人会问：自抗扰不能干什么？简单地说，等效不过去，观测不好，或者消不掉，三个里面有一个成立，自抗扰控制就无能为力了。回答就这么简单！细抠一下，它既可能是结构问题，也可能是观测器的限制问题，还可能是执行机构的问题。做一个好的控制技术人员，光懂自抗扰是不够的；还需要有工程知识和对问题的理解；还需要能够抓住问题的要害；还需要不懈地努力学习。（有个老师问我她能不能接一个某个工厂的项目，我说可以，但要等到她化一段时间，了解了那个工厂的问题，抓住了要害。这时才能判断问题是不是能在自抗扰的框架内解决。即使不行，凭着对前馈、PID、扰动的理解，也应该能给人家做点改进。）

3. 抓住自动控制的本质问题和共性，重新理解、研究控制论

以上两个切入点可以现实地帮助读者找到解决具体问题的新途径。可是当你不满足于此的时候，当你试图明白自抗扰控制背后的本质问题的时候，请你试试另一个切入点：文【7】给出了反馈系统的一般形式：积分器串联型；文【8】的意义重大，可以从中看到自抗扰控制的原始思维（见文【9】）；文【10】谈鲁棒控制的框外之解；文【11, 12】是对自抗扰范式的解读；文【13】是对控制论中的一些基本概念的反思。从这些文章中，你可能会体会到韩老师的治学精神，他的学术自信与个性，和他给我们的启示；你可能会看到，控制论最终是要重构的；你甚至可能会有一种莫名其妙的使命感。

4. 自抗扰控制的理论研究：解释、验证、分析

有人告诉我现在不少人搞理论是因为比较容易出文章。越理论，越数学，越难懂，文章越好出。还有就是不要独树一帜，最好跟着“大牛”们走，给他们捧场。但是搞自抗扰理论似乎不同。文【14】是自抗扰控制稳定性的第一次证明。可是在投 AC 和 Automatica 时很不顺利，常常几句话都不说就拒了，而且不给你申辩的机会。直到五年后我们才在 ASME 上发了个短文，见文【15】。即使是郭宝珠老师这样的大家，据说 ADRC 方面的文章也曾受阻，好在文【16】今年终于在 SIAM 上发了，硬淌出了一条路。

理论分析的核心问题是怎样解释、验证自抗扰控制在工程实践中显现的有效性。这里，我们的工作刚刚起步。我们需要像 Bode、Nyquist 那样的理论功底深厚的人来关注这个问题，给一个新兴的技术提供理论基础。对于工程技术人员，文【14-16】难免是远水解不了近渴。于是我们以文【17, 18】等等，试图把自抗扰控制用工程上频域的语言描述，以求直观、有用。薛文超、黄一正在把这一工作用严谨的数学语言不断提高到新的高度，见文【19, 20】。

5. 理念的发现与产生

科学研究的最高境界是新的理念的产生，比如哥白尼的日心说，牛顿的万有引力，爱因斯坦的时空观。我认为韩老师最为杰出的贡献是他的总扰动理念，即系统内部和外部不确定性等效在输入端的总和。它具有划时代的意义。至于总扰动怎样被估计、相消都是重要的，但是相比之下也是次要的。关键问题是你敢不敢提出把这个与状态相关的量当做另一个状态对待，通过输入输出信号来实时地提取它的信息，进而简化控制器的设计；你敢不敢把

控制当成实验科学，大胆发明创造；敢不敢说：成功了自然有后人去证明。也许韩老师最大的贡献是给大家创造了一个发现与产生新理念的氛围。相信他的思想所产生的火花会激发出更多的火焰，照亮一代人的脚步，包括已经一些很有成就的学者。比如，Michel Fliess 和 Hebertt Sira-Ramirez 的工作深刻地反映了韩老师的影响，见文【21，22】。Differential Flatness 【23】的理念可以帮助我们在选择控制方案之前，更深刻地理解、整理控制问题。它与自抗扰控制有着奇妙的结合。（待补充）

小结

以上是 2013 ACC 与 CCC 的研讨班后，根据同学们和老师们的需要，很仓促地起草的。希望大家多多指正，多多提建议，以便日后能够不断地改进，更好地满足大家的需要。以上提到的文献，除了书外，都打包放在一起，供大家使用方便。挂一漏万，还请大家原谅。

文献

- 【1】 韩京清，自抗扰控制技术，北京，国防工业出版社，2008.
- 【2】 Z.GAO, SCALING AND BANDWIDTH-PARAMETERIZATION BASED CONTROLLER TUNING, PROCEEDINGS OF THE AMERICAN CONTROL CONFERENCE, COLORADO JUNE 4-6, 2003, 4989-4996.
- 【3】 Y. Huang, K.K. Xu, J.Q. Han, J. Lam, Flight control design using extended state observer and non-smooth feedback, Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control, Vol.1, pp.223-228, Dec.4-7, Orlando, USA, 2001.
- 【4】 R. Miklosovic and Z. Gao, "A Dynamic Decoupling Method for Controlling High Performance Turbofan Engines," Proceedings of the 16th International Federation of Automatic Control (IFAC) World Congress, Volume # 16, Part# 1, July 4-8, 2005.
- 【5】 Q. Zheng, Z. Chen, and Z. Gao, "A Practical Dynamic Decoupling Control Approach," Control Engineering Practice, Vol. 17, pp. 1016-1025, July 2009.
- 【6】 Ohioepolymer News Ohioepolymer News, "LineStream Technologies: Advanced Control, Made Simple", Accessed on Oct.1st, 2012 at http://www.polymerohio.org/index.php?option=com_content&view=article&id=352:linestream-technologies-advanced-control-made-simple&catid=1:latest-news&Itemid=61
- 【7】 韩京清，线性系统的结构与反馈系统计算，全国控制理论及其应用论文集，43-55，北京：科学出版社，1981.
- 【8】 韩京清，控制理论-模型论还是控制论，系统科学与数学，9(4):328-335, 1989.
- 【9】 高志强，重读《控制理论---模型论还是控制论》有感，2013.
- 【10】 韩京清，控制系统的鲁棒性与 GODEL 不完备性定理，控制理论与应用，1999，16(增):149-155
- 【11】 Zhiqiang Gao, "Active Disturbance Rejection Control: A Paradigm Shift in Feedback Control System Design", Proc. of the 2006 American Control Conference, Minneapolis, June 14-16, 2006, pp. 2399-2405.
- 【12】 高志强，控制工程的抗扰范式，中国控制会议论文集，2010，北京，6071-6076.

- 【13】 Zhiqiang Gao, “On the Conceptualization of Automatic Control”, 中国控制会议论文集, 2013, 西安, pp. 199-204.
- 【14】 “On stability analysis of active disturbance rejection control for nonlinear time-varying plants with unknown dynamics” Qing Zheng; Gao, L.Q.; Zhiqiang Gao; 46th IEEE Conference on Decision and Control, 12-14 Dec. 2007 Page(s):3501 – 3506.
- 【15】 “On Validation of Extended State Observer through Analysis and Experimentation”, Qing Zheng, Linda Gao, and Zhiqiang Gao, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, March 2012.
- 【16】 Guo B., Zhao Z. On Convergence of the Nonlinear Active Disturbance Rejection Control for MIMO Systems, SIAM J. Control and Optimization. Vol. 51, No. 2, pp. 1727–1757. 2013.
- 【17】 “Frequency Response Analysis of Active Disturbance Rejection Based Control System”, Gang Tian, Zhiqiang Gao, Proceedings of the 2007 IEEE Multi-conference on Systems and Control, Singapore, October 1-3, 2007, pp. 1595-1599.
- 【18】 Jason Tatsumi, and Zhiqiang Gao, “On the Enhanced ADRC Design with a Low Observer Bandwidth”, Proceedings of the 2013 Chinese Control Conference, July 26-28, 2013, Xi’an, China, pp. 297-302.
- 【19】 Wenchao Xue and Yi Huang, “On Performance Analysis of ADRC for Nonlinear Uncertain Systems with Unknown Dynamics and Discontinuous Disturbances”, Proceedings of the 2013 Chinese Control Conference, July 26-28, 2013, Xi’an, China, pp. 1102-1107.
- 【20】 Wenchao Xue and Yi Huang, “On Parameters Tuning and Capability of Sampled-data ADRC for Nonlinear Coupled Uncertain Systems”, Proceedings of the 2013 Chinese Control Conference, July 26-28, 2013, Xi’an, China, pp. 317-321.
- 【21】 Michel FLIESS and Cedric JOIN, “Model-free control”, International Journal of Control, July 2013.
- 【22】 Hebertt Sira-Ramirez, Lecture Notes, University of Science and Technology Beijing, July 15-19, 2013; Beijing Institute of Technology, July 22, 2013.
- 【23】 Hebertt Sira-Ramirez, *Differentially Flat Systems*, CRC Press, May 26, 2004.