

小子样系统可靠性综合评估方法研究(李国英,于丹,石坚,吴启光,成平,戴树森)

投入占用产出技术及其在全国粮食产量预测中的应用(陈锡康、杨翠红)

非光滑镇定和 $H_{\infty}$ 控制(洪奕光)

分布参数系统控制理论中的几何方法(姚鹏飞)

几何自动作图方法、软件与应用(高小山)

**成果名称:小子样系统可靠性综合评估方法研究**

完成人:李国英,于丹,石坚,吴启光,成平,戴树森

【简介】该项目为总装备部“九五”预研重点项目“小子样系统可靠性综合分析方法研究”,起止时间:1996.1-2000.12,于2001年3月通过验收,总经费:155万。

系统可靠性综合评估方法是利用复杂系统及其组成设备的试验信息对系统可靠性指标进行综合评估的统计推断方法。随着武器系统复杂性的提高以及试验条件的限制,对全系统进行可靠性试验几乎是不可能的,国内的大型武器系统更是如此,而且其组成设备的各类试验数据通常也是小子样。自上个世纪六十年代起国内外的许多统计学家对可靠性综合评估方法进行系统地研究,提出了数十种综合评估方法,但均有各种不同程度的局限性,远不能满足我国的实际需求。

本项目通过引入置信分布等概念,在WCF展开方法的基础上提出了部分WCF展开方法。该方法从本质上实现了设备级数据处理方法和系统级综合评估方法的分离,除了利用可靠性试验数据外,还可以利用设备研制阶段的可靠性增长试验数据,类似设备试验数据,不同环境应力下的试验数据,老炼和筛选试验数据,工程经验及专家信息等多种数据和信息,显著扩大了系统可靠性综合评估的信息来源,使得评估结果更加精确客观,而且适用面宽,从而能较好的满足国内需要。从统计学上说,该方法实现了频率统计, Bayes统计和信仰推断三个不同流派的融合,并对设备级的若干类试验数据提出了新的模型和数据处理方法。迄今为止,该方法已应用于二炮的两个导弹型号(DF-21, DF-5)贮存可靠性的综合评估,某舰船的综合导航系统和电子战系统的综合评估,航天921工程的两个子系统和长寿命卫星子系统的可靠性综合评估,均取得良好效果。该方法已被编入二炮一部的软件,被总装备部“十五”预研项目“小子样复杂系统可靠性综合评估系统”选为核心方法,进入工程化阶段,将在国防工业部门推广使用。此外,目前许多其他单位也在应用该方法。

在项目验收组对该课题验收意见中称“...在系统可靠性综合评定、利用可靠性增长数据、类似产品数据和先验信息等统计分析方法上有创新, ...具有广泛的应用前景,已在型号产品的可靠性综合中得到实际应用,效果良好”。在成果使用方《DF-5导弹贮存延寿研究》鉴定意见中称“...在统计方法上有创新, ...具有重大的战略意义和巨大的经济效益”。在成果使用方《O52B型舰可靠性评定方法研究》应用证明中称“...为不能直接用试验方法验证可靠性指标的系统、设备提供了一个符合舰船工程实际的、可操作的可靠性综合评定方法,为O52B型舰研制提供了可靠性验证的指导性文件”。

该研究项目相关的论文发表情况如下。

1. 于丹,赵永辉,薛宏旗.指数寿命定时截尾数据情形下可靠度的置信限,系统科学与数学,1999,vol.19, No.2, 240-245.
2. Yu Dan, Li Guo-ying, System Reliability Evaluation Based on Second Order Normal Approximation, Proceedings of ICRMS'99, Shanghai, China, 178-183.
3. Yu Dan, Li Guo-ying, Wang Hongwei, A New Method for Reliability Growth Data Analysis of Electronic Equipment, Proceedings of ICRMS'99, Shanghai, China, 397-402.
4. 赵永辉,李国英,于丹,基于Bayes估计的系统可靠性综合方法,科学通报,1999,vol.44, 1038-1041.
5. Li Guo-ying, Yu Dan, Confidence bound of system reliability based on components information, 第67回日本统计学会讲演报告集,201-202,1999,日本岗山理科大学.
6. 于丹,李国英, System Reliability Evaluation Based on Multi-source of Components Information, 第五届泛华统计协会国际会议,香港,1999.
7. Yu Dan, Guo Kui, An Introduction to package RAP for System Reliability Evaluation-Basic Frame and Methods, Proceedings of ICRMS'2001, Dalian, China, 145-150.
8. 赵永辉,程侃,于丹,利用先验信息修正经典限的可靠性评估方法,系统工程理论与实践,2002,vol.22, No.5, 71-75.
9. 于丹,郭奎,系统可靠性综合分析软件-RAP,可靠性工程,2002,vol.1, No.1, 25-27.
10. Yu Dan, Yang Jun, Storage Reliability evaluation of complex repairable system, The 4<sup>th</sup> Asian Statistical Computation Conference, 2002, Pusan, Korea.
11. Yu Dan, Li Guo-ying, Reliability Assessment Based on Partial WCF Expansion, The 4<sup>th</sup> East Asian Statistical Conference, 2002, Seoul, Korea.
12. 于丹,李国英,陈家鼎,复杂系统贮存可靠性综合评估方法,概率统计学会第七次年会,2002,长春.
13. 李国英,吴启光,赵勇辉, On Bayesian Analysis of Binomial Reliability Growth, J. Japan Statist. Soc. Vol. 32 No. 1 2002 1-14.

**成果名称:投入占用产出技术及其在全国粮食产量预测中的应用**

完成人:陈锡康、杨翠红

【简介】投入产出分析由美国科学家Wassily W. Leontief创立,曾获1973年诺贝尔经济学奖。其特点是能全面反映国民经济各部门之间的联系,但其重要缺陷是没有反映占用(如耕地、劳动力、固定资产等)与产出以及占用与投入之间联系,而占用是生产的重要前提条件。陈锡康等针对其缺点,提出了新的投入占用产出技术。目前已获得美国科学院院士Walter Isard,投入产出分析的创始人、诺贝尔奖获得者Wassily W. Leontief和澳大利亚昆士兰大学教授R. C. Jensen等的好评。如W. W. Leontief在致国际投入产出协会秘书长信中认为是“该领域的一项非常重要的发明和创新”。

投入占用产出技术在全国粮食产量预测研究中得到了成功地应用。特别是1998年中国科学院实行知识创新工程以后,提出了非线性投入占用产出技术和基于占用的新的一般形式的完全消耗系数计算方法,并且发现粮食每亩纯收益是决定农民种粮积极性的主要因素,在此基础上建立了考虑报酬递减的非线性粮食预测方程,以双向正负指数形式反映化肥施用量与粮食亩产的函数关系,取得了很好的效果。经检验,利用新方法的拟合效果显著地高于原有的方法,目前已得到精度很高的20个非线性粮食预测方程。每年5月初向中央上报当年度全国粮食、棉花和油料产量预测报告。

到目前为止,预报各年度粮食丰、平、歉方向全部正确,预测提前期为半年以上,预测平均误差小于3%,远较国际同类预测结果为好。1996年以来中央和国家领导,如李鹏、朱镕基、温家宝、回良玉等先后18次给以表扬和肯定(其中,1999年以后11次)。如回良玉副总理2003年5月11日在中国科学院上报的预测报告上批示:“贵院数学与系统科学研究院陈锡康等的‘预测报告’已阅,这对我们农业生产和农村经济发展的工作指导和政策制定是很有益处的”。

2003年国家粮食局、国务院研究室、国家发展和改革委员会和农业部致函中国科学院及我研究院,均对此项研究给以高度评价。如国家粮食局致中国科学院函中指出“为我们和其他部门制定粮食购销、进出口政策提供了重要的决策参考依据。如预报粮食丰收后,政府有关部门采取增加贷款等措施,积极支持粮食企业扩大仓容,为粮食收购后合理安排工作争取了主动”。国务院研究室来函中指出“为国家准确判断农业生产形势,进行宏观决策,安排粮食生产、储备、进口提供了科学的参考依据”。中央农村工作领导小组在1999年评价:“为我国粮食生产的宏观决策提供了科学依据”。国家发展和改革委员会2003年来信中说“为我们及时判断农业生产形势,研究制订有关农业政策提供了有益的参考依据,为做好宏观调控工作发挥了积极作用”。(均有证明件)

在1999年8月召开的第十五届国际运筹学会联合会学术大会(IFORS'99)上投入占用产出技术在粮食产量预测中应用获得国际运筹学进展奖一等奖。

发表的有关论文:

1. Chen Xikang, 1998, Input-Occupancy-Output Analysis and Its Application in Chinese Economy, *International Journal of Development Planning Literature*. Vol.13, No.2, pp.105-118,
2. Chen Xikang, 1999, Input-Occupancy-Output Analysis and Its Application in Chinese Economy, in S. Dahiya eds, *The Current State of Economic Science*, Spellbound Publications Pvt. Ltd, Vol. 1, pp. 501-514
3. Chen Xikang, Pan Xiaoming and Yang Cuihong, 2001, On the study of China's grain prediction, *International Transactions in Operations Research*. Vol.8, No.4, pp. 429-437.
4. Chen Xikang, Yang Cuihong and Xu Jian, 2003, Water Conservancy Input-Occupancy- Output Table of China and Its Application, *International Journal of Development Planning Literature*, Vol.17, No.1 & 2, pp.19-28

## 成果名称：非光滑镇定和 $H_\infty$ 控制

完成人：洪奕光

【简介】非线性系统控制理论自上世纪六七十年代以来得到很大发展，但重要的结果大都与微分几何方法相关，故要求光滑性。在很多理论研究和实际设计中，人们发现非光滑反馈能极其有效地改善被控系统的性能(如动态反应性和抗干扰性)，而且能对一些光滑反馈难以控制或不能控制的光滑系统进行控制。总之，非光滑反馈控制具有许多优良的性质，在理论和实际方面均有重要的意义。但是由于非光滑性的困难，这方面的理论研究工作却发展缓慢。

洪奕光自1999年以来在非光滑反馈设计方面做出了一系列突出的工作。首先对一类重要的非线性系统进行了(非光滑)镇定和 $H_\infty$ 控制及输入输出稳定性的研究并构造出具有解析表达式的控制器。其工作的创新点主要在于揭示了此类系统镇定和 $H_\infty$ 控制等之间的内在联系，而且从新的角度给出一个既可以处理光滑反馈情况又可以处理非反馈情况的方法。此结果可应用于难以控制的欠驱动系统的反馈设计中。另外，还进而研究了非光滑有限时间控制。有限时间控制可使系统在有限时间内就精确地到达要求的目标，而且它往往是非光滑的，而已有的大部分结论只适用于低阶系统。这方面成果的创新性在于揭示了有限时间可镇定性与系统可控性之间的内在关系，并利用带扩张的齐次性理论和非光滑微分方程理论对相当一般的非线性系统给出一套连续但非光滑有限时间控制的设计方法。据此得到的控制设计不仅有快速性还有鲁棒性。而且应用于机器人和电力系统的控制设计中。其中在获专利的行星探测球形机器人的控制中采用了非光滑控制的思路。

1999年，因镇定和 $H_\infty$ 控制的工作荣获第十四届国际自动控制联合会(IFAC)世界大会的“青年作者奖”(IFAC青年作者奖评委会认为是一篇“outstanding paper”)，被《2000科学发展报告》评为九项1999年中国科学家具有代表性的基础研究工作之一。全文于2001年以“大文章”发表于国际自动控制最有影响的三个刊物之一的《Automatica》上，被审稿人认为是“控制领域真正有兴趣的，值得发表在显著的地方”(definitely of an interest to control community and deserves publication on a highly visible place)。在非光滑有限时间控制等系列工作已逐步发表在有影响的《IEEE Trans. Automatic Control》等刊物上，其中的一个工作被审稿人认为是“走向实际应用的重要一步”(a significant step towards actual implementation in applications)。2001年获得中国科学院青年科学家奖。

相关工作发表的论文：

1. Y. Hong, 2001,  $H_\infty$  control, stabilization, and input-output stability of nonlinear systems with homogeneous properties, *Automatica*, vol. 37, no 6, 819-829.
2. Y. Hong, 2002, Finite time stabilization and stabilizability of a class of controllable systems, *System and Control Letters*, vol 46, 231-236.
3. Y. Hong, J. Huang and Y. Xu, 2001, On an output feedback finite time stabilization problem, *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. 46, 305-309.
4. Y. Hong, Y. Xu, and J. Huang, 2002, Finite time control of robot manipulators, *System and Control Letters*, vol 46, 243-253.
5. Y. Wang, D. Cheng, Y. Hong and H. Qin, 2002, Finite time stabilizing excitement control of a synchronous generator, *Int. J. Systems Science*, vol 13, 33-22.
6. Y. Hong, G. Yang, L. Bushnell, and H. Wang, 2000, Finite time stabilization: from state feedback to output feedback, *IEEE CDC, USA*
7. Y. Hong, H. Wang, and L. Bushnell, 2001, Adaptive finite time control of nonlinear systems, *ACC, USA*
8. H. Wang, Y. Hong, and L. Bushnell, 2001, Nonsmooth bifurcation control: from fractional power control to trumpet bifurcation, *IEEE CDC, USA*.

## 成果名称：分布参数系统控制理论中的几何方法

完成人：姚鹏飞

【简介】姚鹏飞1999年引进黎曼几何方法来解决法国科学院院长J. L. Lions 1986年在SIAM Review提出的公开问题：非均匀材料薄膜及薄板边界控制问题。近几年来，姚鹏飞所引进的黎曼几何方法已成为国际上解决非均匀材料弹性系统边界控制问题的基本方法。他2000年用整体几何理论重新表达了薄壳的动力系统公式，并首次给出了具有任意形状中面的薄壳边界精确可控性结果，为薄壳的建模与控制的研究提供了基本的方法与工具。

姚鹏飞的工作近年来得到了国际同行在公开发表刊物上的高度评价：

1. 美国Littman 和Gulliver Le教授在Contemporary Mathematics( Vol.268, 2000, p.145—175)发表的论文中(p. 162)说：“论文(姚, 美国SIAM控制杂志, 1999)将Bochner型几何方法引入了双曲系统的控制中。”
2. 美国Virginia大学I. Lasiecka 和R. Triggiani 教授在J. Math. Anal. Appl. (Vol.269 (2002), 642-688)发表的论文中(p. 644)说：“这个领域的一个最近的进展 (a recent advance in this area) 是姚关于浅壳的工作，这个方法使用Bochner技巧来克服计算复杂性……”，“为了解决非线性边界反馈镇定问题，我们结合了姚的观测性估计和微局部分析技巧...” 他们上述46页的长文完全建立在姚鹏飞的工作(SIAM J. Control and Optimization, 2000)所给定的框架之上。并用一个附录，重述了该工作，以便于不熟悉黎曼几何的读者阅读。
3. 法国Miller教授的文章, SIAM J. Control Optim., Vol. 41(2003), No.5, pp. 1554-1566, 说“(姚鹏飞1999)是创新性黎曼乘法”，并多次称(姚鹏飞1999的)主要结果为“姚定理”。
4. S.A. Avdonin在美国Math Review (2002) 上认为，姚引进了Riemannian几何乘法。
5. F. Iacob在美国Math Review(1999)上认为，姚的Riemannian几何方法是一个关键组成部分。
6. G. Leugering在美国Math Review(2001)上评论道：“……该文(姚鹏飞2000)的结果对精确可控性和指数镇定问题是重要的 (important)。这是第一篇(first paper)对一般形状的壳求得这样的估计的文章。……他(姚)给出了一系列由该理论所覆盖的重要(important)例子”。
7. 最近的109页的综述文章(作者R. Gulliver, I. Lasiecka, W. Littman, 和 R. Triggiani, 见 <http://www.ima.umn.edu/~gulliver/papers/lasiecka.pdf>), 叙述了姚鹏飞及其合作者10篇文章中的主要结果并有大量评论，特别(p. 11-12)说“(姚鹏飞1999)是黎曼几何方法解决分布参数控制问题方向上的原创性工作”。

有关论文：

1. Pengfei Yao, On the observability inequalities for exact controllability of wave equations with variable coefficients. *SIAM J. Control Optim.*, 37 (1999), no. 5, 1568—1599.
2. Pengfei Yao, Observability inequalities for shallow shells. *SIAM J. Control Optim.* 38 (2000), no. 6, 1729—1756.
3. Pengfei Yao, Observability inequalities for the Euler-Bernoulli plate with variable coefficients. *Differential geometric methods in the control of partial differential equations*, 383--406, Contemp. Math., 268, Amer. Math. Soc., Providence, RI, 2000.
4. Shugen Chai, Yuxai Guo, and Pengfei Yao, Boundary feedback stabilization of shallow shells, *SIAM J. Control Optim.*, Vol. 42(2003), No. 1, pp. 239-259.
5. Shugen Chai and Pengfei Yao, Observability inequalities for thin shells, *SCIENCE IN CHINA (Series A)*, Vol. 46(2003), No. 3, pp. 300-311.
6. Yuxai Guo, Shugen Chai, and Pengfei Yao, Stabilization of elastic plates with variable coefficients and dynamical boundary control. *Quart. Appl. Math.* 60 (2002), no. 2, 383--400.
7. Triggiani, Roberto; Yao, P. F., Carleman estimates with no lower-order terms for general Riemann wave equations. Global uniqueness and observability in one shot. Special issue dedicated to the memory of Jacques-Louis Lions. *Appl. Math. Optim.* 46 (2002), no. 2-3, 331--375.
8. Lasiecka, R. Triggiani, and P. F. Yao, Carleman estimates for a plate equation on a Riemannian manifold with energy level terms, *Analysis and Applications*, Chapter 15, 199-236 ISAAC, Kluwer(2003).
9. Triggiani, Roberto; Yao, Peng-Fei, Inverse/observability estimates for Schrödinger equations with variable coefficients. Recent advances in control of PDEs. *Control Cybernet.* 28 (1999), no. 3, 627--664.
10. Lasiecka, I.; Triggiani, R.; Yao, Peng-Fei, Inverse/observability estimates for second-order hyperbolic equations with variable coefficients. *J. Math. Anal. Appl.* 235 (1999), no. 1, 13--57.
11. Lasiecka, Irena; Triggiani, Roberto; Yao, Peng-Fei An observability estimate for second-order hyperbolic equations with variable coefficients. *Control of distributed parameter and stochastic systems*, 71--78, Kluwer Acad. Publ., Boston, MA, 1999.

## 成果名称：几何自动作图方法、软件与应用

完成人：高小山

【简介】几何自动推理较多关注机器证明，但是工程应用领域经常遇到的问题可以归结为几何自动作图，即实现复杂、大规模几何图形作图的机械化。我们提出几何自动作图的全局延拓法、C-树分解方法与LIMd方法，可以将大型问题分解为某种极小的“模式”，完整解决了几何图形的自动生成问题，使得用传统方法所不能解决的大型问题得以快速求解。以此为基础实现了自动推理平台的应用模块MMP/Geometer。以几何自动作图方法为基础解决了P3P空间定位公开问题，给出了其解的个数的完全分类与完整解析解，并以此为基础发展了求解P3P问题的高效完整算法。全局延拓法的审稿意见认为是“几何自动推理又一重要”

突破(significant breakthrough)”。P3P问题的论文在机器智能与视觉方面权威杂志IEEE T. PAMI 发表为regular paper, 被列为“2003年度SCI部分高影响因子期刊收录的中国作者论文”23篇论文之一。。MMP/Geometrie被国外专家称为“重要与具有代表性”(Caffera, ADG2001)的几何推理系统,“最精良(most sophisticated)的证明系统”(Loveland, AI Mag, 99), “一个杰作(masterpiece),代表了几何定理证明器的当前水平。”(Bortolossi, 2002), 获第四届亚洲数学技术大会“最佳论文”奖。

#### 主要相关论文:

1. X.S. Gao, X. R. Hou, J. Tang and H. Cheng, Complete Solution Classification for the Perspective Three Point Problem, IEEE Tran. on PAMI, 930-943, 25(8), 2003.
2. X.S. Gao, C.M. Hoffmann and W. Yang, Solving spatial basic geometric constraint configurations with locus intersection, Computer Aided Design, 111-122, 36(2), 2003.
3. X.S. Gao, K. Jiang, and C. Zhu, Geometric Constraint Solving with Conics and Linkages, Computer Aided Design, 34 (6), 421-433, 2002.
4. X.S. Gao, C. Zhu, S.C. Chou, and J.X. Ge, Automated Generation of Kempe Linkages for Algebraic Curves and Surfaces, Mechanism and Machine Theory, 36 (9), 1019-1033, 2002.
5. X.S. Gao and G. Zhang, Geometric Constraint Solving via C-tree Decomposition, Proc. ACM Solid Modeling, 45-55, Seattle, USA, ACM Press, New York, 2003.
6. X.S. Gao, Building Dynamic Mathematical Models with Geometry Expert, Proc. of ATCM'99, pp.153-162, 1999, ATCM Inc.