

## 推荐 2018 年度国家自然科学奖公示

### 项目名称：多智能体系统的分布式协调控制

### 提名者及提名意见：中国科学院

该项目突破原有理论研究框架，首次提出主动领导者协调跟踪理论，最早对分布式观测器设计中的核心问题进行了研究，解决了部分协调跟踪控制中的基本问题；改进了经典的内模原理并首次提出分布式输出调节理论，为众多协调控制问题提供了更一般的理论研究框架，得到了相关协调控制问题可解的充要条件；对于多智能体系统时变网络拓扑情形，提出了联合连通网络拓扑下的协调控制设计与分析方法，进一步揭示了多智能体系统的拓扑连通结构与整体系统动态的本质关系。该项目深入地研究了多智能体系统的协调控制机制，解决了若干长期困扰学术界的关键性技术问题，取得了一系列原创性成果，推动了多智能体系统协调控制理论和方法的发展。该项目开创的主动领导者协调跟踪控制理论以及相关的分布式观测器研究已经得到了广泛关注和迅猛发展，而率先研究的分布式输出调节理论也在近几年得到迅速发展。该项目研究成果得到了国内外很多知名学者的广泛关注和引用。8篇代表性论著大多发表于自动控制领域的顶级期刊，它们至今的SCI他引总次数1600多次，Google学术总次数4000多次，其中7篇是ESI工程领域高被引论文。该项目中的一篇代表性论著Google引用超过1200次，SCI他人引用超过500次，获得了《Automatica》颁发的2006-2010“高引用论文”奖，还被评为2006年自动化和控制理论领域的排名第二的经典论文。第一完成人荣获IEEE Fellow称号。第一完成人和第三完成人连续多年入选爱思唯尔中国高被引学者。经同行评议，获中国科学院推荐国家奖资格。

经评审，同意推荐该项目为国家自然科学奖二等奖。

### 三、项目简介

近年来，多智能体系统分布式控制问题受到越来越多不同领域学者的关注，来自系统控制、社会经济、国防安全、能源生态等众多领域的学者对该问题开展了深入的研究，并逐渐成为一个横跨诸多学科、具有广泛普适性和巨大应用前景的热门研究课题。这是因为对于复杂的大规模网络系统，这种不依赖全局信息的分布式控制方法比传统的集中式方法更有优势。然而现有的控制理论与方法难以有效地解决网络和信息技术快速发展所带来的一系列新的计算、控制和优化问题，亟需发展多智能体协调控制的新理论和新方法。

本项目迅速抓住学科发展机遇，由师生关系形成科研团队协同攻关，对包括分布式协调跟踪、分布式输出调节、多智能体网络连通性等关键的科学问题进行了全面而深入的研究，取得了重要突破。主要创新点包括：

1) 分布式协调跟踪：突破了原有的理论研究框架，首次提出主动领导者协调跟踪的概念并进行了系统研究；针对主动领导者存在部分状态不可量测问题，最早对分布式观测器设计中核心问题进行了研究，解决了协调跟踪控制中的一些基本问题；进而为解决基于典型受限信息的协调跟踪问题提供了有效方法，完善了协调控制理论研究框架。所得的结论和方法提高了相关领域的研究深度和应用广度。

2) 分布式输出调节: 改进了经典的内模原理并首次提出分布式输出调节理论, 为众多协调控制问题提供了更一般的理论研究框架; 得到了相关协调控制问题可解的充要条件; 进而在问题可解情况下, 通过构造分布式内模给出了典型的高阶多智能体系统的协调控制设计方案。

3) 网络连通性与协同: 鉴于早期研究大多假设多智能体网络的拓扑是固定的或动力学方程是简单的一阶方程, 本项目考虑高阶多智能体系统时变网络拓扑情形, 针对更一般的联合连通网络拓扑, 提出了协调控制设计与分析方法, 进一步揭示了多智能体系统的拓扑连通结构与整体系统协同动态的本质关系。

本项目对于主动领导者协调跟踪及相关分布式观测器的研究开辟了一个全新的方向, 得到了学术界的高度关注和快速发展; 而率先开展研究的分布式/合作输出调节问题也成为多智能体协调控制研究中的热点问题并在近年掀起了研究热潮。本项目的相关论文大都在IEEE Trans. Automatic Control和Automatica等控制领域顶级期刊发表, 并得到包括多国院士和IEEE Fellow在内的学者等的大量关注和引用。8篇代表性论文中7篇是ESI高被引论文, SCI他引约1600次, Google学术引用约4000次。本项目中的代表性论著[1]于2011年获得国际自动控制联合会(IFAC)旗舰杂志《Automatica》颁发的2006-2010“高引用论文”证书, 至今Google引用超过1200次, SCI他引超过500次, 被评为2006年自动化和控制理论领域的经典论文名单中的第二位。另外, 第一完成人荣获IEEE Fellow称号, 并且第一完成人和第三完成人连续多年入选爱思唯尔中国高被引学者。

#### 四、客观评价

多年来, 在第一完成人的带领下, 项目组在多智能体系统协调控制方面取得了一系列具有重要国际影响的突出成果。所取得的成果大都在 IEEE Trans. Automatic Control 和 Automatica 等控制领域顶级期刊发表, 得到国内外同行的高度评价和大量引用并引发了大量的后续研究。至今 8 篇代表性论文 Google 引用约 4000 多次, SCI 他引约 1600 多次, 其中包含 10 多位各国国家科学院或工程院院士及 80 多位 IEEE Fellow 的公开引用。而关于“主动领导者”和“分布式观测器”的研究在国际上开辟了一个全新的研究领域并取得了奠基性的成果, 引领了该领域的研究潮流。截止目前, 代表性论著[1] Google 引用 1200 多次, SCI 他引高达 500 多次。从代表性论著[5]发表之后, 有关分布式/合作输出调节(有时也称作多智能体系统输出调节)的文章引起了学术界的高度关注, 近年来关注度越来越高, 代表性论著[1-7]均 ESI 高被引论文。

代表性论著[1]获得了系统与amp;控制科学领域顶尖期刊《Automatica》颁发的2006-2010 最高引用(Most Cited)论文证书, 还被评为 2006 年自动化(automation)和控制理论(control theory)领域排名第二的经典论文。第一完成人因其在非光滑控制和分布式多智能体控制(for contributions to nonsmooth control and distributed multi-agent control)方面的贡献, 于 2017 年 1 月成为 IEEE Fellow。另外, 第一完成人和第三完成人多年入选爱思唯尔中国高被引学者。

下面介绍 8 篇代表性引文, 该部分所列评价原文均为英文, 此处提供中译文。

代表性引文[1]: 美国 IEEE Fellow 和 IFAC Fellow F. Lewis 教授与其合作者在 **International Journal of Robust and Nonlinear Control** 上发表的文章指出我们的领导跟随趋同方面的工作是“卓越的 (significant) ……”(原文是“Many significant results on leader-following consensus have been reported; see, for instance, [20–23]”, 其中[20]和[21]是我们于 2006 和 2008 年发表的代表性论著[1]和[2], 而 [22, 23]分别是 2010 和 2012 年发表的)。

代表性引文[2]: 墨西哥 E. Nuno 冠名教授 (Titular Professor) 和法国 IEEE Fellow 和 IFAC Fellow R. Ortega 教授在 **IEEE Transactions on Control Systems Technology** 上发表的文章指出他们的结论是“文献[44]和[4]的特殊 (special) 情况, 对相关矩阵给出了基本 (fundamental) 性质(原文是“which is a special case of [4, Lemma 1.6] and [44, Lemma 3], provides a fundamental property of the composed Laplacian matrix”, 其中[44]是我们 2006 年发表的代表性论著[1], 而文献[4]是他人于 2011 年出版的专著, 总结了包括我们成果在内的众多研究成果)。

代表性引文[3]: 英国 Sheffield 大学 Z. Ding 教授在 **IEEE Transactions on Automatic Control** 上发表的文章指出我们在趋同控制设计方面的成果是“在趋同控制设计方面一个卓越的进步”(原文是“A significant progress in consensus control design is the use ... with the connection graph [1,2,3,4]”, 其中[2]是我们的代表性论著[1])。

代表性引文[4]: 香港 IEEE Fellow 和发展中国家科学院院士以及欧洲科学院院士 Guanrong Chen 和其合作者在 **International Journal of Robust and Nonlinear Control** 上发表的文章指出我们是率先 (first) 开始对单积分器系统做协调跟踪问题的 (原文是“the coordinated tracking problem was first discussed for single-integrator kinematics [14-16]”, 其中[14]是我们 2006 年发表的代表性论著 [1], 而[15, 16]分别是他人于 2007 和 2009 年发表的文章)。

代表性引文[5]: 意大利教授 G. Antonelli 在 **IEEE Control Systems Magazine** 上发表的文章指出“一阶动态系统方面的相关问题仍是公开的问题”(open issue), 然而我们在二阶动态系统方面已经做出了一些贡献(原文是“first-order dynamics are still an open issue while some solutions arise for second-order dynamics [32], [31]”, 其中[32]是我们的代表性论著[2])。

代表性引文[6]: 澳大利亚 Newcastle 大学 Z. Chen 及其合作者在 **IEEE Transactions on Cybernetics** 上发表的文章指出我们在连通性方面的成果在工程应用中更有前景(原文是“A kind of switching joint connectivity condition was studied in [15] which is of more practical potentials in engineering applications”, 其中提到的文献[15]是我们的代表性论著[4])。

代表性引文[7]: 澳大利亚科学院院士/IEEE Fellow David Hill 教授与其合作者在 **Automatica** 上发表的论文指出我们对更一般 (more general) 的异质多智能体输出同步问题给出了基于内模的控制方法(原文是“Wang et al. presented an

internal model controller for output synchronization for more general heterogeneous multi agents systems (Wang, Hong, Huang, & Jiang, 2010)", 其中所引用的是我们的代表性论著[5]。

代表性引文[8]: 澳大利亚 IEEE Fellow Xinghuo Yu 教授和东南大学 IEEE Fellow 曹进德教授及其合作者在 **IEEE Transactions on Cybernetics** 上发表的文章指出我们的分布式输出调节工作是“值得一提的, 为解决这样的分布式趋同跟踪提供了另一种方法”(原文是"It is also worth pointing out that another possible way to solve such a distributed consensus tracking problem ... is the distributed output regulation-based approach [35] ", 其中[35]是我们的代表性论著[6])。

## 五、代表性论文专著目录

序号	论文专著 名称/刊名 /作者	影响 因子	年卷页码 (xx年xx 卷 xx页)	发表 时间 (年 月 日)	通讯作 者(含共 同)	第一作 者(含共 同)	国内 作者	SCI 他引 次数	他引 总次 数	论文 署名 单位 是否 包含 国外 单位
1	Tracking control for multi-agent consensus with an active leader and variable topology/ Automatica/Y. Hong, J. Hu, L. Gao	5.451	2006年第42卷第7期1177-1182页	2006年7月1日	Yiguang Hong	Yiguang Hong	洪奕光, 胡江平, 高利新	504	1179	否
2	Distributed observers design for leader-following control of multi-agent networks/ Automatica/Y. Hong, G. Chen, and L. Bushnell	5.451	2008年第44卷第3期846-850页	2006年3月1日	Yiguang Hong	Yiguang Hong	洪奕光	332	712	是

3	Leader-following coordination of multi-agent systems with coupling time delays/Physica A/J. Hu, Y. Hong	2.243	2007 年第 374 卷第 2 期 853-863 页	2007 年 2 月 1 日	Jiangping Hu	Jiangping Hu	胡江平, 洪奕光	277	605	否
4	Lyapunov-based approach to multiagent systems with switching jointly connected interconnection/ IEEE Transactions on Automatic Control/Y. Hong, L. Gao, D. Cheng, J. Hu	4.270	2007 年第 52 卷第 5 期 943-948 页	2007 年 5 月 1 日	Yiguang Hong	Yiguang Hong	洪奕光, 高利新, 程代展, 胡江平	166	387	否
5	A distributed control approach to a robust output regulation problem for multi-agent linear systems/IEEE Transactions on Automatic Control/X. Wang, Y. Hong, J. Huang, Z.P. Jiang	4.270	2010 年第 55 卷第 12 期 2891-2895 页	2010 年 12 月 1 日	Xiaoli Wang	Xiaoli Wang	王晓丽, 洪奕光	80	230	是
6	Distributed output regulation of leader-follower multi-agent systems/Int. Journal of Robust and Nonlinear Control/Y. Hong, X. Wang, Z.P. Jiang	3.393	2013 年 23 卷 48-66 页	2013 年 1 月 10 日	Yiguang Hong	Yiguang Hong	洪奕光, 王晓丽	47	92	是
7	Distributed tracking control of leader-follower multi-agent systems under noisy measurement/ Automatica/J. Hu, G. Feng	5.451	2010 年第 46 卷第 8 期 1382-1387 页	2010 年 8 月 1 日	Jiangping Hu	Jiangping Hu	胡江平	115	210	否

8	Global target aggregation and state agreement of nonlinear multi-agent systems with switching topologies/ Automatica/G. Shi, Y. Hong	5.451	2009年 第45卷第 5期 1165-1175 页	2009 年 5月 1日	Guodong Shi	Yiguang Hong	石国 栋, 洪突 光	45	104	否
合 计								1566	3421	

补充说明（视情填写）：

**承诺：**上述论文专著用于提名国家自然科学基金的情况，已征得未列入项目主要完成人的作者的同意。知识产权归国内所有，且不存在争议。

第一完成人签名：

洪奕光

## 六、主要完成人情况

1. 姓名：洪奕光

排名：1

行政职务：无

技术职务：研究员

工作单位：中国科学院数学与系统科学研究院

完成项目时所在单位：中国科学院数学与系统科学研究院

对本项目主要学术贡献：1. 是本项目的领导者和主要完成人，提出了本项目的  
主要思想。首创了主动领导者的概念，率先研究了分布式观测器和分布式输出  
调节的研究方向，对本项目所有的科学发现点均做出了主要贡献。2. 作为  
代表性论文【1,2,4,5】的第一作者、论文【8】的通讯作者，对本项目所列8篇  
代表性论文中7篇论文的科学发现均做出了重要贡献。

2. 姓名：胡江平

排名：2

行政职务：无

技术职务：教授

工作单位：电子科技大学

完成项目时所在单位：中国科学院数学与系统科学研究院、电子科技大学

对本项目主要学术贡献：1. 是代表性论文【3,7】的第一作者和通讯作者，也  
是代表性论文【1,4】的合作者以及国际自动控制联合会重要奖项的共同获奖  
人，对本项目理论成果的完成起到了重要作用。2. 对本项目科学发现点1、3  
做出了重要贡献，即对多智能体系统的主动领导者协调跟踪控制设计与分析、  
基于分布式观测器的协调控制等方面做出了重要贡献，研究了多智能体系统在  
时变耦合网络、通信延时、测量噪声等信息受限情形下的一致性控制。

3. 姓名：王晓丽

排名：3

行政职务：无

技术职务：副教授

工作单位：哈尔滨工业大学（威海）

完成项目时所在单位：哈尔滨工业大学（威海）

对本项目主要学术贡献：1.对分布式输出调节问题进行了研究，将内模原理引  
入到多智能体系统的分布式控制设计中，得到了相关协调控制问题可解的充要  
条件，这是一项基础性的工作。提出了具有一般性的理论研究框架，为该方面

的研究提供了理论基础和工具。2. 是8篇代表性论文中2篇论文的合作者。作为代表性论文【5】的第一作者和代表性论文【6】的第二作者，对基于内模的分布式输出调节问题进行了深入研究，是本项目的重要参与者和主要完成人，对本项目科学发现点2做出了重要贡献。

4. 姓名：高利新

排名：4

行政职务：院长

技术职务：教授

工作单位：温州大学

完成项目时所在单位：温州大学

对本项目主要学术贡献：1.是代表性论文【1,4】的合作者以及国际自动控制联合会重要奖项的共同获奖人，对本项目的完成起到了重要作用。2. 对本项目科学发现点1、3做出了重要贡献，即对多智能体系统的主动领导者跟踪协调控制设计、基于分布式观测器的协调控制以及联合连通网络的一致性控制方面做出了重要贡献。

5. 姓名：石国栋

排名：5

行政职务：无

技术职务：高级讲师

工作单位：澳大利亚国立大学

完成项目时所在单位：中国科学院数学与系统科学研究院

对本项目主要学术贡献：1.是代表性论文【8】的第一作者，对非光滑分析和图论在网络系统中的应用起到了关键性作用。该方法是系统性地处理复杂网络协同问题中切换网络结构的分析方法。后续工作获得2011年IFAC青年作者奖提名奖。2. 是本项目的重要参与者和主要完成人，对科学发现点3做出了突出贡献。

## 七、完成人合作关系说明

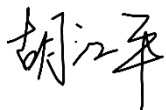
本项目组是在第一完成人洪奕光的带领下成长起来的。其中第二完成人胡江平和第三完成人王晓丽为第一完成人洪奕光分别于2004-2007年和2007-2010年指导的中国科学院数学与系统科学研究院博士研究生（分别于2007年、2010年博士毕业），第四完成人高利新为第一完成人的2004-2006年非线性组博士后(2006年出站)，第五完成人石国栋为第一完成人的2005-2010年硕博连读研究生（2010年博士毕业）。



# 知情同意证明

本人为论文“Distributed tracking control of leader-follower multi-agent systems under noisy measurement (Automatica, 46 (8) : 1382-1387, 2010)” 的第一作者和通讯作者。该论文的选题思想、研究思路等是在中国科学院数学与系统科学研究院洪奕光研究员的原研究成果基础上完成的。作为申报2018年国家自然科学基金的主要完成人之一，本人已知晓并同意洪奕光研究员将本论文作为代表性论文之一申报2018年国家自然科学基金。

特此证明。

证明人： 

二零一七年十一月二十五日