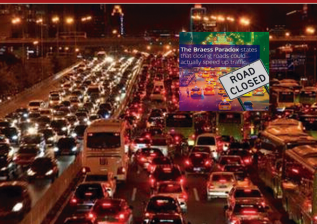


简讯

中国科学院国家数学与交叉科学中心

National Center for Mathematics and Interdisciplinary Sciences, CAS

<http://www.ncmis.cas.cn/>



科研进展

布雷斯悖论的网络拓扑结构研究取得进展

文：信息技术部

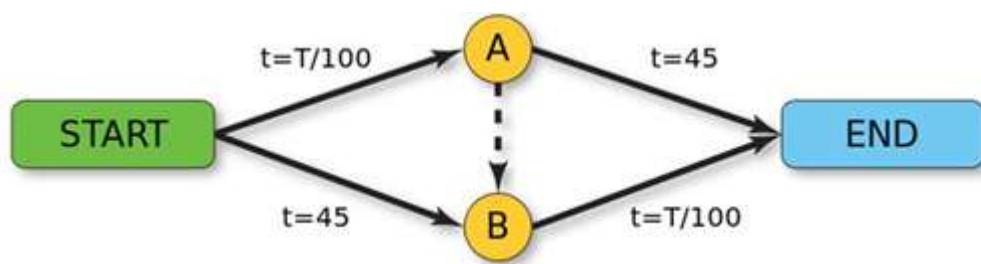


著名的布雷斯悖论(Braess paradox)是德国数学家 Dietrich Braess 在 1968 年发现的自私路由中一个反直观现象:移除网络的某些链接反而能够提高网络系统均衡的效率——降低路由的延迟。布雷斯悖论表明博弈均衡缺乏效率,而且在现实生活中屡见不鲜。在交通繁忙的市区,建一条新路,分流拥挤的交通似乎是一个不错的想法,但根据布雷斯悖论,结果正好相反:对于出行的个体来说,往交通网络中增加一条新路线会增加他们所有人的出行时间(如果他们都想通过这条新路抄近道)。另外,韩国首尔的规划者拆除一条 6 车道高速路,修建了一个方圆 8 千米

的公园后,很多道路专家惊讶地发现,首尔的交通非但没有恶化,反而得到了改善。其实这就是布雷斯悖论反向版。

2006 年 Tim Roughgarden 在研究布雷斯悖论对系统效率影响的严重性时,提出一个公开问题:什么样的网络拓扑可以防止布雷斯悖论的发生?这一问题的解决对于网络设计具有重要指导意义。以色列数学家 IgalMilchtaich 在博弈论的顶尖期刊《Games and Economic Behavior》就无向网络单源单汇的特殊情形部分解决了该问题,并特别指出多源多汇无向网络的情形还是一个未决的问题。

信息技术部陈旭瑾等最近不仅成功的解决了 Milchtaich 遗留的问题,而且对于所有(无向或有向)网络任意多对源汇的情形得到了不发生布雷斯悖论的网络拓扑的统一刻画,从而完整的回答了 Tim Roughgarden 的公开问题。所得的成果是 Milchtaich 结果的意义深远的推广,是在刻画“无悖论”性质方面一个很好的(填补空缺的)结果,对促进人们理解网络结构与均衡流性质之间的联系有很大贡献。



低维流形上最优控制问题的数值方法研究取得进展

文:材料环境部

基于 J. L. Lions 等人从 20 世纪 60 年代的开创性工作, 偏微分方程约束控制问题在最近几十年成为数学的一个热门领域, 并在流体控制、形状及材料优化、参数辨识、化学工程等领域得到了广泛的应用。从控制论的角度, 人们关心控制问题的极大值原理, 系统的可控性、能观性、能稳性及反馈控制的设计。从实际应用的角度, 人们更关心控制的可实现性, 特别是在具有偏微分方程约束的情况下实现理论上的最优控制及研究离散控制系统具有的性质, 这些问题都离不开控制问题的数值模拟。尽管 Lions、Glowinski、Lasiecka 等人在 20 世纪 80 年代已经开始了控制问题数值分析方面的研究, 但从 2000 年开始偏

微分方程控制问题数值方法的研究才得到了飞速发展。

从控制问题的可实施性来看, 通常我们不可能在整个空间区域对系统施加控制, 而只可能在空间的局部 (分布控制) 或者区域边界 (边界控制) 施加控制作用。而在很多实际问题中, 控制变量在空间上具有稀疏性, 比如控制器的最优放置问题、具有点源及线源的控制问题、废水处理及污染物排放及反源问题等, 这些问题引入了稀疏控制的概念。若控制器位置未知, 我们需要在 L^1 空间及测度空间寻求具有稀疏解的最优控制。若控制器位置已知但控制作用于空间的点、线及面上, 我们把这一类问题归为低维流形上的

最优控制问题,由此带来了具有 Dirac 源项的椭圆及抛物状态约束方程,这给理论分析及数值逼近带来了极大的困难。针对此类问题,目前文献中缺乏在理论上的系统研究,数值分析方面的工作还是一片空白。

材料环境部龚伟近年来一直从事偏微分方程控制问题数值方法的研究,最近与合作者严宁宁教授等人在低维流形上的最优控制问题的理论分析及数值逼近方面进行了系统深入的工作,并取得了一系列重要成果,主要包括:(1)研究低维流形上的控制问题需要对状态约束方程的性态有精确的刻画。他们研究了具有 Dirac 源项的抛物方程,证明了解的存在唯一性,并研究了问题的空间半离散及时空全离散有限元方法,得到了关于时间离散和空间离散的最优先验误差估计。尽管文献中有大量关于具有 Dirac 源项椭圆方程数值分析的结果,他们的工作被认为是目前文献中关于此类问题的唯一结果,并对研究

低维流形上的抛物控制问题提供了理论支持;(2)考虑了抛物点态控制问题的有限维逼近,给出了时空有限元离散的先验估计,这是文献中第一个关于低维流形上控制问题有限维逼近收敛性的结果;(3)在一般性的框架下,从理论和数值上研究了控制作用于空间区域低维流形上的椭圆及抛物控制问题,得到了控制问题的极大值原理,给出了状态变量的最优正则性估计,并得到了有限元离散的最优先验误差估计。

他们的工作得到了著名的控制及数值分析领域专家 Enrique Zuazua 教授(ICM45 分钟报告人、洪堡研究奖、欧洲科学院院士)、Karl Kunisch 教授(ICM45 分钟报告人)、Charles Elliott 教授(洪堡研究奖、SIAM Fellow)等人的关注和引用,并引发了关于具有低维流形上状态观测及点态控制问题数值分析方面的工作。

基于约化构造邻差算子的高效算法研究取得进展

文:先进制造部

设计构造邻差算子的高效算法是 Wilf-Zeilberger 方法应用于组合恒等式证明,格点路径计数,数学物理中含参积分的计算等问题的

关键。Zeilberger 算法研究方面最知名的学者 M. Kauers 教授认为:从 1990 年至今,邻差算子的构造算法经历了四代的演化。第一代算法是

Zeilberger 在上世纪 90 年代初提出的,基本思想是基于微分、差分算子环上的非交换消元。这种方法后来分别由 Takayama 和 Chyzak, Salvy 等人利用非交换 Groebner 基方法得到了改进。在 1990 年, Zeilberger 发现对一类所谓的超几何项可以基于参数化的 Gosper 算法来“快速”地构造超几何项的邻差算子,这就是第二代算法,后称之 Zeilberger (快速)算法。这类快速算法在许多计算机代数系统如 MAPLE 和 MATHEMATICA 中得到了实现。在 2005 年,为了更好的分析已有关于超指数-(q-)超几何项的邻差算子的构造算法的复杂度, Zeilberger 与其学生 Apagodu 提出了基于线性系统求解的算法,即第三代算法。这算法对于分析邻差算子的阶数以及其多项式系数的次数的上界非常有效,但是计算效率欠佳。前三代算法的共同特点是在计算邻差算子的同时不可避免需要计算相伴的验证函数,而该函数一般在存储大小上比邻差算子高出一个量级并且在应用中往往是多余的。一直以来,如何将邻差算子的计算与其相伴验证函数的计算分离开来,是一个很具挑战性且重要的问题。解决这个分离问题的关键是约化算法。第四代算法就是基于约化(reduction-based telescoping)的构造算法。具体内容如下

1. 基于约化的构造有理函数的邻差算子的高效算法

Hermite 约化是符号计算中求单变元有理函数的不定积分的基本技巧。在 2010 年,先进制造

部陈绍士、李子明等科研人员在文章【4】中基于 Hermite 约化设计了计算双变元有理函数的邻差算子的新算法,并证明了该算法的算术复杂度比已有的算法低。新算法的特点是可以将邻差算子和验证函数的计算分离开,从而在应用问题中效率远优于经典算法。最近他们的工作又由法国巴黎综合理工的 Lairez 在其博士论文中利用 Griffiths-Dwork 约化进一步推广到一般多变元情形。这些算法显著提高了经典 Zeilberger 算法的效率。M. Kauers 教授在 2015 年关于计算机数学的暑期学校的系列报告中指出,第四代算法的奠基性工作开始于文章【4】。论文的评审意见指出“This is a very well-written paper, pioneering a serious optimal implementation of the problem of definite integration... it is a very good beginning...”。

2. 基于约化的构造超指数函数与超几何项的邻差算子的高效算法

为了将基于约化的构造算法推广到比有理函数更一般的情形,他们的文章【3】中首先改进了 Hermite, Davenport, Geddes-Le-Li 等关于单变元超指数函数的约化算法,然后基于改进后的约化设计了计算双变元超指数函数的邻差算子的新算法。该算法同样解决了分离问题。与经典的 Almkvist-Zeilberger 算法相比不但在理论上给出邻差算子的阶数的更紧上界,而且效率更优。最近他们在文章【2】中将【3】中结果推广到了离散超几何情形,即改进了超几何项的

Abramov-Petkovsek 的约化算法并用于计算邻差算子。在 2016 年, 法国巴黎综合理工的 Dumont 在其博士论文工作中延续他们的工作将这类算法推广到了混合超指数-超几何情形, 并利用了他们的关于邻差算子存在性判定的工作。文章【2】的前期结果获得了国际符号与代数专业委员会颁发的 2014 年度“ISSAC 杰出海报奖”。对于这两项工作的评审意见指出“it improves the state of the art in telescoping; the fact that a certificate is no longer needed is an important contribution, ...”。“These two enhancements – a faster reduction procedure as well as elimination of certificate computation – result in a novel creative telescoping algorithm...”。

3. 基于约化的构造代数函数邻差算子的高效算法

如前所述, 经典的 Hermite 约化只处理有理函数。为了处理代数函数, Trager 在其博士论文中将 Hermite 约化算法推广到了代数函数情形。在【1】中首先将超指数, 超几何情形的多项式约化推广到代数函数情形, 然后结合 Trager 的约化算法给出了计算代数函数邻差算子的新算法, 同时他们还给出了邻差算子的阶的新的上界。与经典的方法相比较, 算法效率更佳, 并且所给出的上界更优。文章的评审意见认为“This is an excellent paper, solving an interesting point...”。

线性微分、差分算子的奇点消解及其应用研究取得进展

文: 先进制造部

在组合数学中, 离散序列往往由线性递归关系与序列的前几项值来给定; 在数学物理中, 许多幂级数解也是由线性微分方程及若干初始值唯一确定的。Wilf-Zeilberger 方法就是利用构造邻差算子来得到离散序列与幂级数所满足的这些方程。在利用符号计算方法来解决实际问题时, 先进制

造部科研人员张熠、李子明在直接解方程前往往先对方程本身进行一些分析或预处理。奇点分析就是关键步骤之一。多项式系数的线性微分方程的解的奇点一定是首项多项式的零点, 反之不然。这种不是解的奇点的零点被称为方程的伪奇点 (apparent singularity)。伪奇点可以通过方程左边

复合上另一个多项式微分算子而被消去, 该过程称为奇点消去 (desingularization)。我们利用常线性微分和差分奇点消去的结果给出了计算常线性微分和差分算子的 Weyl 闭包的新方法。对于微分情形, 他们的算法比已知的方法简单得多。而对于差分情形, 他们的算法是第一个计算收缩理想生成元的方法。在该文中还计算出 completely disingularized operator 的概念, 它是容度最小的奇点消去算子, 该算子可以直接应用于判定 P-递归

序列的整性和验证组合学中 Krattenthaler 猜想的特例。

相关文章获得了 2016 年度“ACMISSAC2016 杰出学生论文奖”。

与 Manuel Kauers 合作, 他们把文章【2】中的部分结果推广至 D-finite 系统, 给出了这类系统奇点, 非奇点和伪奇点的定义, 并设计了消除伪奇点的算法。

确定局部修复码最优极小距离方面研究进展

文:信息技术部

局部修复码是近几年的一个非常热门的研究方向, 主要研究在分布式数据存储系统中通过局部修复提高存储节点修复效率的编码理论和方法。一些大型公司, 如 Microsoft, Facebook 等已经在实际平台上运用了相关的编码技术。2012 年 Gopalan 等人得到了关于局部修复码的极小距离的第一个 Singleton 型上界。由于码的极小距离是决定码的容错能力的重要参数, 进而对刻画系统的可靠性起到关键性作用, 因此确定局部修复码的最优极小距离成为分布式存储编码领域的一个重要问题。Gopalan 等人的这篇先导性文章获得了

2014 年 IEEE 的通信领域和信息论领域的联合最佳论文奖。

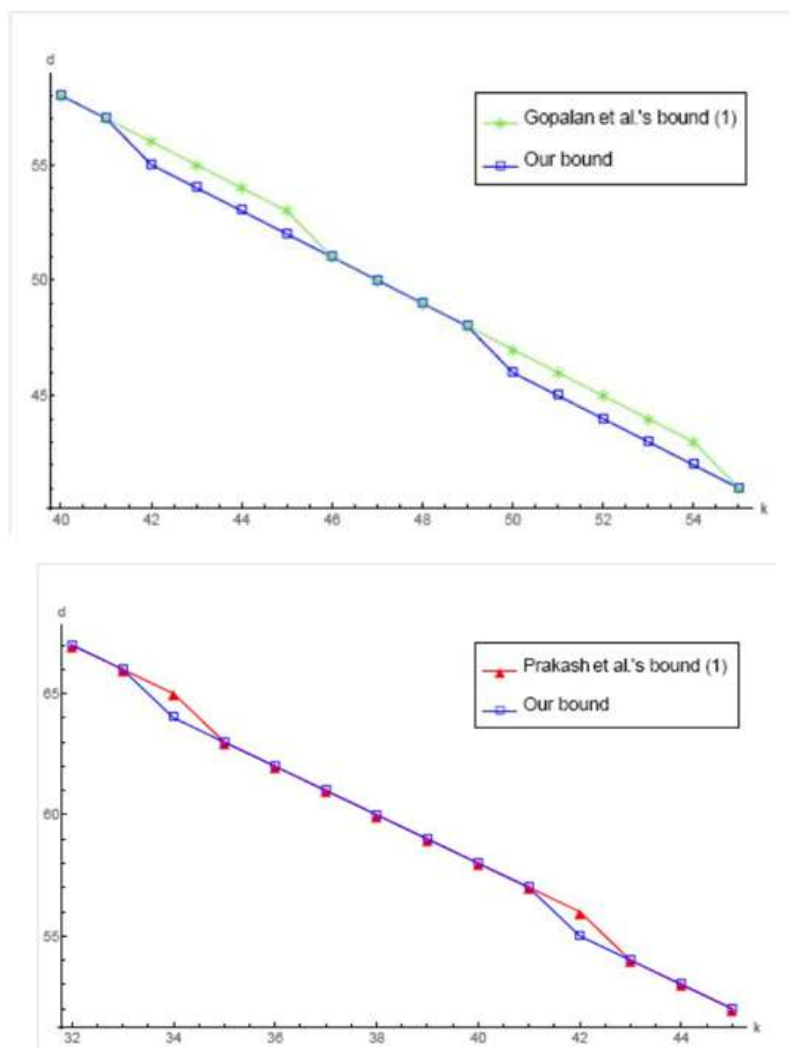
随后的大批学者对该问题展开了一系列深入的研究。在 2013 年 Tamo 等人和 Silberstein 等分别利用 Reed-Solomon 码和 Gabidulin 码构造了 $r+1$ 整除 n 时达到 Gopalan 等人界的最优局部修复码, 但是用到的有限域大小关于 n 是指数的。2014 年的一个重要进展是 Tamo 和 Barg 利用特殊多项式插值在和 n 差不多大的有限域上构造了最优的局部修复码, 他们的文章获得了 2015 年 IEEE 信息论领域的最佳论文奖。

但是, 一个重要问题是 Gopalan 等人的界在 $r+1$ 不整除 n 的很多情形下是达不到的。2014 年 Song 等人以及 Prakash 等人相继部分地改进了 Gopalan 等人的界, 然而他们的结果对参数仍有过多的限制, 或者无法得到一般的显式表示。

信息技术部的张志芳取得的重要进展是得到了参数 $n_1 > n_2$ 下 (涵盖了实用的参数范围 $r \leq \sqrt{n} - 1$) 局部修复码的最优极小距离, 也就是说, 他们改进了之前 Gopalan 等人以及 Prakash 等人的上界, 并且通过给出具体的最优码的构造说

明了我们的界已经是紧的了。从而, 完全确定了这一大类参数范围内局部修复码的最优极小距离。他们的参数范围不依赖于参数 k , 因此极大地扩充了 Song 等人的研究结果。例如, 在下面的图中分别给出参数 $n=101$, $r=9$ 时我们的界与 Gopalan 等人界和 Prakash 等人界的比较。

他们的这一结果目前已经发表在信息论领域权威期刊 IEEE Transactions on Information Theory.



综合新闻

国家数学与交叉科学中心 2016 年度总结交流会召开

文/图：交叉中心办公室

2016年12月28-29日，国家数学与交叉科学中心2016年度总结交流会在北京召开。中心执行委员会成员、课题负责人等30余人出席。会议由中心副主任高小山研究员、闫桂英研究员主持。

数学院执行院长、交叉中心副主任王跃飞研究员在讲话中指出：交叉中心自成立之初就定位于国家层面的高水平研究平台。成立至今，取得了令人瞩目的成绩，得到了学术界的广泛认可，并将在未来获得长期稳定的持续支持。数学院应将交叉中心、基金委中心项目、科教融合数学卓越中心三者统筹规划，谋求发展，以进一步加强数学与交叉科学研究基地建设，促进重大成果的产出。

会议期间，交叉中心23个课题及合肥分中心的负责人或科研骨干代表先后详细介绍了近期的科研进展情况及未来发展计划。

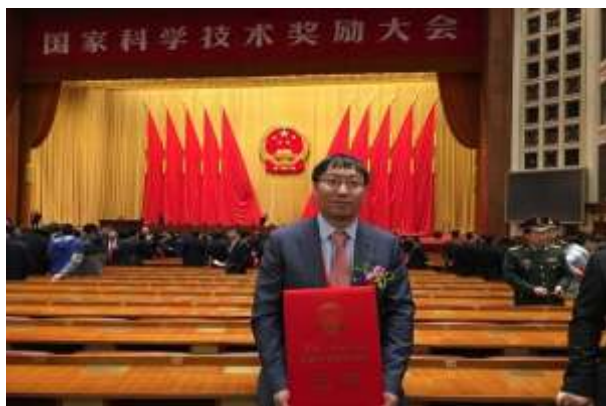
汇报结束后，与会人员围绕科研布局、学术交流合作、人才队伍建设、研究生培养等畅所欲言，为中心未来发展建言献策。与会者一致认为：中心自成立以来，为科研人员搭建了优质高效的



交流平台，积累了一系列高水平的科研成果；在未来的发展过程中，应与时俱进，进一步凝练科研方向，优化布局，聚焦重大科学问题，积极加强中心内部及与外部交叉平台的合作与交流，为优秀的青年人才及交叉人才提供良好的成长环境。

中心主任郭雷院士在总结发言中首先肯定了各课题取得的成绩及亮点工作，他指出：数学及其交叉应用研究在创新型国家建设中发挥着重要作用，李克强总理在全国科技创新大会上也谈到了加强数学研究和应用的重要意义。因此，交叉中心应充分发挥自身优势，选准科学问题，优化科研布局，加强高水平人才队伍建设，在面向国际科学前沿和国家战略需求方面做出更大贡献。

吕金虎研究员获 2016 年度国家自然科学二等奖



2017年1月9日，国家科学技术奖励大会在北京人民大会堂举行。由吕金虎研究员牵头完成的成果“复杂动态网络的同步、控制与识别理论与方法”荣获2016年度国家自然科学二等奖。

吕金虎研究员与东南大学虞文武教授、香港城市大学陈关荣讲座教授、武汉大学陆君安教授和周进副教授合作，主要从事复杂动态网络的同步、控制与识别理论与方法研究。复杂动态网络是系统与控制科学的前沿与热点研究领域，美国国防部将社交网络人类行为的计算模型列入六大颠覆性基础研究领域。该项目揭示了一类典型时变复杂动态网络同步的普适性规律，证明了时变复杂网络同步本质由该网络的内耦合矩阵和外耦合矩阵的特征根及其特征向量决定；揭示了复杂动态网络牵制控制的基本规律，发现了复杂网络

的结构、耦合强度、牵制节点数与控制增益之间的定量关系；揭示了复杂动态网络结构识别的内在线理，发现了同步阻碍拓扑识别的基本规律；突破了由节点局部信息获取网络全局信息的关键瓶颈，建立了一类不确定复杂动态网络自适应同步的基本准则。

吕金虎研究员主要从事复杂网络、非线性电路与系统、网络大数据等研究。现任国家重点研发计划首席科学家、国家自然科学基金创新研究群体负责人。曾获何梁何利科学与技术进步奖(2015)、两项国家自然科学二等奖(2008排名第二，2012排名第一)、国家万人计划领军人才、国家杰出青年科学基金、“新世纪百千万人才工程”国家级人选、国家有突出贡献中青年专家、中国工程院光华工程科技奖“青年奖”、中国科学院青年科学家奖、中国青年科技奖、全球高被引科学家、全国优秀博士学位论文等奖励或荣誉。曾任IEEE电路与系统学会/计算智能学会IEEE Fellow 评委会委员、第9届亚洲控制会议(ASCC 2013)程序委员会主席，现任第43届IEEE工业电子学会年会(IECON 2017)大会共同主席、中国工业与应用数学学会常务理事等。

闫桂英、杨晓光荣获第七届“全国优秀科技工作者”称号

文:王翠斌、许清

近日,中国科协公布了第七届“全国优秀科技工作者”名单。闫桂英、杨晓光两位研究员获此殊荣。

闫桂英同志长期从事运筹学及其应用的研究,先后主持、参与国家“973”项目、国家自然科学基金重点、创新群体、面上基金项目、中国科学院知识创新工程重点项目、战略性先导科技专项等十余项,获得国家发明专利1项,发表论文50余篇;培养研究生和博士后20多名,获国务院“政府特殊津贴”;近些年开展数学与生命医学领域的交叉合作研究,成绩突出。

闫桂英还担任多个杂志编委,曾任中国运筹学会图论组合分会理事长,为加强和推动与国际同行的学术交流作出了大量有成效的工作,影响很大;现任中国运筹学会常务理事,科普工作委员会主任,为运筹学在国内的应用普及作了很好的创新性工作,她推动中国运筹学会与北京青少年科技俱乐部共建学术指导中心和科研实践基地,义务为北京青少年科技俱乐部做了很多有成效的协调工作;组织撰写了有关运筹学的科普传播的系统性材料,在中学、大学及企业等深入组织并主办了数十场运筹学的科普讲座、讨论,产生了良好的社会反响;她还多次担任青少年科技奖项的评审工作,加入相关的青少年科学活动组织,

在指导和推广青少年科普教育方面作出了非常实质性的贡献,产生了广泛影响;她担任中科院国家数学与科学交叉中心副主任,在数学与其他领域的交叉研究、学术交流等方面作出了实质性的贡献,特别是作为在中国召开的第一次、史上规模最大(近3500人)、最有影响的第八届国际工业与应用数学大会的承办单位的主要负责人,筹备近两年,大会取得了圆满成功,她和她团队的工作受到国内外同行的高度评价和赞誉。

杨晓光同志主要从事管理科学和系统工程等领域的研究。先后承担过国家自然科学基金重大项目、973项目、863项目、国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金应急项目群、国家自然科学基金杰出青年基金项目、国家自然科学基金面上项目等国家项目十几项,中国人民银行、国家发改委、商务部、国家外汇管理局、一些省和自治区人民政府的项目近十项,在国际国内重要期刊上发表论文100余篇,为国家有关部门开发数套决策支持系统。他不仅在管理科学和系统工程的基础研究领域取得了一批创新性成果,而且在面向经济管理应用实践方面突出的表现。他先后获得过复旦管理学突出贡献奖、北京市科学技术奖一等奖、二等奖、三等奖各一次,教育部科技进步一等奖一次,湖南省自然科学二等奖、科技

进步二等奖各一次、新疆自治区科技进步二等奖一次,中国运筹学会运筹应用一等奖一次,并且获得过一批学术1期刊、国内外学术会议的优秀论文奖。

他还获得过国家杰出青年基金、中国科学院百人计划、中国青年科技奖、百千万人才工程国家级人才、国务院特殊贡献专家、茅以升青年科技奖、中国科学院优秀博士后等一批个人奖励。他先后担任过《Acta Mathematicae Applicatae Sinica》、《Journal of Systems Science and Complexity》、《Financial Innovation》、《Journal of Systems Science and Information》、《系统工程理论与实践》、《运筹与管理》、《智库理论与实践》等期刊的编委,担任近一系列国际会议的大会主席、组织委员会主席;以及国家自然科学基金委、科技部、中国科协的很多项目和奖励评审委员会委员。

杨晓光同志积极投身推进中国科学活动的工作之中,担任着中国系统工程学会秘书长。中国运筹学会副理事长、中国优选法统筹法与经济数学研究会常务理事、中国管理现代化研究会常务

理事,以及一些学会的专业委员会主任。他积极组织学会的各项工作,推进学会的组织建设和民主化建设,致力于学会公共服务能力的提高。他热心科普,不仅每年数次组织成建制的科学普及活动,而且深入高等院校及企事业单位,进行科学知识的普及。他还积极投身于服务社会的工作,例如他担任海淀区人大代表、中央统战部特约信息员等职位,积极为中央决策和地方发展献计献策,一批政策研究报告获得国家及京市领导部门的批示,曾获得中国科学院院地合作先进个人的称号。

据悉,“全国优秀科技工作者”奖是中国科协面向广大科技工作者设立的奖项,主要奖励在一线从事科学研究、开发、推广、普及的科技工作者,激励广大科技工作者立足本职、敬业奉献、开拓创新、奋发有为,积极投身创新型国家建设,为实现“两个一百年”奋斗目标、实现中华民族伟大复兴的中国梦作出新的更大的贡献。该奖项每两年评选一次,获奖人数不超过500名。此次,第七届“全国优秀科技工作者”入选者共494名。

洪奕光研究员当选为 IEEE Fellow

2016年11月23日,美国电气与电子工程师学会(IEEE)公布了2017年新当选的会士(Fellow)

名单,洪奕光研究员因其“对非光滑控制与分布式多自主体控制的贡献”而当选为IEEE Fellow。

IEEE Fellow 是 IEEE 授予其会员的最高荣誉，也是相关技术领域公认的重要荣誉。

洪奕光现为中科院数学与系统科学研究院研究员、国家数学交叉中心信息技术部主任、中科院系统控制重点实验室主任。主要从事非线性控制、多自主体系统、分布式优化、社会网络和软件可靠性等方向的理论研究。曾获国家杰出青年科学基金、国家自然科学基金二等奖、中科院青年科学家奖、IFAC 世界大会青年作者奖等。现任 SIAM 控制系统理论奖励委员会委员，中国系统工程学

会副秘书长和中国自动化学会控制理论专业委员会副主任；并担任 Control Theory and Technology 主编和《自动化学报》副主编，还曾任或现任国际著名控制刊物 IEEE Trans. on Automatic Control、IEEE Control Systems Magazine 和 IEEE Trans. on Control of Network Systems 的编委等。

IEEE 是信息科学与电子技术等领域的国际性学术组织，是世界上最大的专业组织之一，拥有来自 160 个国家和地区的近 40 万会员。IEEE 制定的标准在工业界有广泛影响。

学术动态

综合报告六十二：谈自忠教授谈 “The Future of Robotics”

文/图：交叉中心办公室

2016年10月16日下午，华盛顿大学谈自忠教授应国家数学与交叉科学中心邀请在数学院南楼做了题为“The future of robotics”的综合报告，报告由中心主任郭雷院士主持。数学院的科研人员及研究生30余人出席了报告会，其中包括系统所所长张继峰研究员和中心信息技术交叉研究部主任、系统控制重点实验室主任洪奕光研究员。

谈教授从机器人过去的历史，现在的发展，以及未来的方向上，给大家展现了丰富的成果和内容。这次报告概述了机器人发展的必然性及机器人的主要应用领域——工业与制造业，尤其是

在生物制药业中的应用，还展示了自动化，计算机，量子等前沿的科学和机器人发展的融合，也指出了现在机器人存在的问题——与人之间的交流及量子计算等。报告最后，谈教授还展示了他对机器人未来应用的一些展望，如远程控制，纳米机器人，在环境与生物方面等。不仅如此，谈先生与我们这些年轻的研究生们交流了如何做研究，强调了对科学研究的热爱的重要性，更要打好基础，其次则是一种锲而不舍的精神，这样才能做出更好的研究工作。

综合报告六十三：Stephen M. Watt 谈“全球数字数学图书馆”计划的最新进展

文/图：交叉中心办公室

2016年11月15日上午，加拿大滑铁卢大学Stephen M. Watt教授应国家数学与交叉科学中心邀请在数学院南楼作了题为“Challenges in Building a Global Digital Mathematics Library”的综

合报告。数学院的部分科研人员以及研究生共计40余人出席了报告会。报告会由数学与系统科学研究院副院长、交叉中心副主任高小山研究员主持。

“全球数字数学图书馆 (GDML)”是由国际数学联盟 (IMU) 在 2014 数学家大会期间正式启动的国际合作计划。该计划旨在整合已有数学数字资源, 比如 arxiv, jstor, EuDML, zbMATH, NUMDAM 等, 从而建立一个便于全球数学工作者更好地查询自己科研成果的原创性与应用性的知识系统。Stephen M. Watt 教授在报告中介绍了该计划的发起动机、历史背景、基本架构与远景目标, 并重点讨论了与该计划相关的数学与计算机科学方面的挑战性问题, 比如数学证明有效性的自动检验, 数学文档尤其数学符号与公式的高效电子化与分析等。该报告还谈及了计算机代数系统与符号计算在计划实施中的重要性。报告会结束后, 高小山研究员向 Stephen M. Watt 教授颁发了讲座证书。

在其访问期间, Stephen M. Watt 教授与数学机械化重点实验室的高小山研究员、支丽红研究



员和陈绍示博士, 在关于计算机数学方面的诸多问题开展了讨论, 并制定了进一步的合作研究计划。

Stephen M. Watt 教授现任加拿大滑铁卢大学数学学院院长, 他的研究涉及符号计算, 计算机程序语言与编译, 文档分析与知识管理等。他曾就职于 IBM Watson 研究中心与法国计算机与自动化研究所等知名科研单位, 并且是著名数学软件 MAPLE 的创立者之一。

综合报告六十四：沈昌祥院士 谈“重启可信革命--主动免疫可信计算 3.0”

文/图：交叉中心办公室

12月22日上午, 海军计算技术研究所沈昌祥院士应邀数学与交叉科学中心邀请在数学院南楼作为“重启可信革命--主动免疫可信计算 3.0”的学术报告。报告会由国家重点研发计划项目“网

络大数据的数据与隐私保护基础理论研究”首席科学家吕金虎研究员主持, 数学研究院副院长、国家数学交叉中心副主任高小山研究员向沈昌祥院士颁发了讲座证书。

“没有网络安全，就没有国家安全”。沈昌祥院士指出，网络空间安全是计算科学问题、体系结构问题、计算模式问题。由于人们对于 IT 的认知逻辑的局限性，而不能穷尽所有组合，只能局限于完成计算任务而去设计 IT 系统，必定存在逻辑不全的缺陷，从而难以应对人为利用缺陷进行攻击。因此，我们必须从逻辑正确验证、计算体系结构和计算模式等科学技术创新去解决逻辑缺陷不被攻击者所利用的问题。为确保完成计算任务的逻辑组合不被篡改的破坏，必须重启可信革命，采用可信计算 3.0 创新技术，构筑主动免疫防御的网络空间安全保障体系。

可信计算的本质是指，计算运算的同时进行安全防护，使计算结果总是与预期一样，计算全程可测可控，不被干扰，是一种运算和防护并存的主动免疫的新计算模式，用密码实施身份识别、状态度量、保密存储，及时识别“自己”和“非己”成份，从而破坏与排斥进入机体的有害物质。



从发展过程来看，可信 1.0 的特征是容错技术和算法；可信 2.0 针对的是 PC 时代，重点关注的是节点的安全性，特征是被动度量；可信 3.0 体现的则是中国自己可信计算创新方案 - 关注点是提升（网络）系统的免疫性。可信计算 3.0 的模式已在国家电网电力调度系统安全防护建设、在中央电视台可信制播环境建设发挥了重要作用。

长远来看，国家的网络安全及信息安全必须实施安全等级保护的方略，可信计算是基础的一环，其中也提出很多具有挑战性的数学问题。而从根本上解决和应对网络空间安全问题将是一个长期的挑战。

数学文摘

美国科学家公布最大新素数

文章来源：中国科学院科技战略咨询研究院

1 月,美国数学家柯蒂斯·库柏[1]公布了最大新素数 $274207281-1$,它也是梅森素数,命名为素数 $M74207281$ 。1996 年,一位美国的数论爱好者和退休程序员,设立了“大互联网梅森素数搜索”(GIMPS)项目,利用互联网上的计算能力来找素数,共有 100 多万台计算机参与搜寻。手算时代,人们只找到了 12 个梅森素数,而计算机则帮助找到了 37 个梅森素数,其中有 15 个是 GIMPS 项目找到的。几十年来,爱好者们一直在创新算法,让计算机更快验证巨大的数字是否为素数。柯蒂斯·库柏团队也是使用素数测试 GIMPS 程序找到了新的最大素数 $274207281-1$ 。

数学家已经知道:在“ 2^p-1 ”(P 也是素数)这类数字里更容易发现素数,寻找最大的梅森素数,基本等于寻找最大素数。数字越大,计算越难。寻找最大素数是一个游戏,没有实际用处。由于计算这么大的数是否是素数是很难的,所以要提出新的计算方法和技术,因此寻找素数的努力,可以促进

计算机科学,可催生更可靠的芯片和加密技术。

素数测试程序代码简短,能给出易于检查的答案:当该程序在一已知素数上运行时,经数十亿次计算,输出结果是 TRUE。Intel 公司在测试奔腾系列芯片时,就使用 GIMPS 的程序。另外一项有关素数的计算,还发现了奔腾芯片的一个著名“BUG”。1996 年,美国克雷公司在测试超级计算机的运算速度时,得到了一个新的梅森素数。类似的原理,在研究分布式计算系统时,素数计算也是最合适的测试任务。1990 年代初,苹果公司著名科学家理查德·克兰达尔在改进梅森素数的算法中,发现了一种加速办法。这种办法不但被 GIMPS 用于素数搜寻,还可用于其他计算中。而苹果公司拥有专利的克兰达尔发明的“快速椭圆加密系统”,就将梅森素数用于快速加密和解密信息。

[1] New largest prime number found.
<http://phys.org/news/2016-01-largest-prime.html>

美国物理学诺奖得主预测未来 100 年物理学可能突破

文章来源：中国科学院科技战略咨询研究院

美国麻省理工学院物理学家弗朗克·威尔切克 (Frank Wilczek, 因在夸克粒子理论方面所取得的成就, 2004 年获得诺贝尔物理学奖) 在 4 月出版的《今日物理》(Physics Today) 杂志上发表文章《未来 100 年的物理学》[1], 预测了对称性、多元宇宙、轴子、引力和算法等的发展, 以及诸多大项目带来的学科发展, 如引力波天文学、系外行星天文学、量子计算等。

1、对称性。超对称和统一的思想已成功预测了非零中微子质量, 决定这一思想的成功与否的关键是重子数破缺过程, 包括质子衰变和超对称伙伴的存在。无论是质子衰变还是超对称伙伴, 都将开启一个新的世界。100 年内它们应该能被发现。

2、多元宇宙。在多元宇宙理论下, 人类观察到的宇宙只是整个宇宙系统的其中一个宇宙, 正如太阳系只是众多行星系统中的一个。100 年内人类将能更好地理解这一理论。

3、轴子。轴子是理论物理学家假设存在的一种粒子, 质量很小、相互作用很弱。轴子是构成暗物质的候选者之一, 探测轴子的实验正在不断增加中, 100 年内, 或者很可能在更短的时间内, 这些实验会成功。

4、引力问题。下一个百年对引力的研究包括 3 个重要的问题: (1) 为什么引力

的强度与其他的力不成比例? (2) 空间的质量密度为什么远小于理论预测, 而且是非零的? (3) 广义相对论直接量子化后的方程为什么在极端条件下会失败? 弦理论紧密联系了广义相对论和量子理论, 如果弦理论能有一个更加固定的形式, 那么在 100 年内它将能很好地阐释许多引力问题。

5、从蚂蚁的视角提升到上帝的视角。蚂蚁的视角指的是人类通过意识及时感知各种事物, 把对世界的认识分为各种定律, 上帝的视角指的是把现实作为一个整体来理解。根据相对论, 上帝的视角显得更自然。相对论使人类把时空作为一个有机整体来考虑。威尔切克认为, 未来 100 年基础物理最深远的挑战是从蚂蚁的视角提升到上帝的视角来考虑物理现实。

6、算法的崛起。算法的发展将成为理论物理的焦点, 计算机能运行的概念和方程能得到广泛利用, 不能转化为算法的概念和方程将被认为是有缺陷的。但这并不意味着不用动脑的数字运算将取代创新的洞察力, 相反, 对普适性、对称性和拓扑的创新理解将成为算法思想的前提。

7、大项目。大项目将为人类带来特别大的机遇, 但要实现这些项目将需要大量资源的投入。(1) 引力波天文学已经开始打开宇宙的一扇新窗口, 为了充分利用引力波

天文台的潜力,人类应该在太空部署跨越数百万公里的精密仪器阵列。(2)系外行星天文学将系统地调查银河系,收集数以百万计的行星的质量、轨道、地质和大气层的信息,以及生命在这些行星上有多罕见和生命存在的条件。(3)随着机器人探测器、虚拟远程呈现和合适的生物种子的发展,触觉天文学(Tactile astronomy)将变得轻而易举。人类文明将扩展到太阳系之外。(4)量子计算将要求和实现日益复杂的量子装置的

算法。100年内,量子计算将成为化学和材料科学的核心方法。

未来100年,除了物理仪器之外,思维方式也有两个方向将获得变革性的进展:自然化的人工智能,如三维、容错、自修复的计算机,自组装、自再生、自治的创新机器等;扩展的感知系统。

[1] Physics in 100 years.

<http://scitation.aip.org/content/aip/magazine/physics/69/4/10.1063/PT.3.3137>

LIGO 探测引力波背后的信息技术: 经验与启示

文章来源: 中国科学院科技战略咨询研究院

2月11日,美国激光干涉引力波天文台(LIGO)的科学家宣布直接探测到了引力波[1]。6月16日,LIGO宣布又一次探测到引力波[2]。引力波是100年前爱因斯坦广义相对论所预言的一种以光速传播的时空波动,由于技术限制等原因,到现在才被科学家探测到。这是前沿物理的重大进展,在多方面具有革命性意义。

在LIGO连续探测到引力波的背后,超级计算等信息技术发挥了关键的支撑作用。例如,LIGO通过探测器采集了海量数据,需要通过数据网格传输给相应计算中心的超级计算机进行快速分析,而为了识别引力波信号中的噪声、评估设备的响应函数和分

析引力波来源,LIGO采用了机器学习等先进算法对引力波天文大数据进行了深入挖掘,以上过程又受到了多核处理器、GPU、科学工作流系统等硬件的支持。

我国正在策划三项引力波探测工程,这些工程都离不开信息技术的支持,研究LIGO如何使用信息技术为引力波探测提供有效支持的成功经验,对于我国引力波探测计划取得成功具有重要的参考价值。

一、LIGO 利用信息技术支持引力波探测的经验

LIGO探测器由10个子系统组成,其中之一是数据与计算系统,该系统负责LIGO探测数据的采集、分配和计算等任务。LIGO

建设该系统并利用信息技术为引力波探测提供有效支持的主要经验可归纳为以下三点。

1、构建多模式、多样化的计算资源体系

为满足科学家对计算资源的不同需求，LIGO 采用了 4 种模式来构建多样化的计算资源体系。

(1) 专用计算。LIGO 的成员机构利用自己的计算资源构建了“LIGO 数据网格”[3]，负责常规性的、需要及时处理的计算任务，即在数据产生的同时对其进行实时分析。

(2) 机动计算。根据动态需求，LIGO 可通过美国国家科学基金会 (NSF) 资助的“开放科学网格” (OSG) 获取机动计算资源，OSG 可为 LIGO 提供大量高通量计算服务。

(3) 分配式计算。LIGO 向 NSF 申请其“极端科学与工程探索环境” (XSEDE) 的计算资源，XSEDE 分配给 LIGO 的资源包括传统的超算环境 (批量提交，用户登陆，共享文件系统)，也包括基于虚拟化的用户界面、无需再批量提交任务的超算环境。

(4) 自愿者计算。LIGO 通过“伯克利网络计算机开放基础设施” (BONIC) 项目开展了 Einstein@Home 计划，能利用自愿者的个人计算机来寻找中子星信号。该计划适用于数据量较小、耗时很长的计算任务，负责搜寻连续的引力波信号 (如脉冲星自转产生的引力波)。

在架构上，LIGO 的数据与计算系统分为两级，其中一级系统由位于探测站点 (利文斯顿和汉福德) 和加州理工学院的计算中心组成，探测站点的计算中心主要负责检测激光干涉仪的状态，加州理工学院的计算中心则负责处理一些需要及时完成的任务。原始数据经一级系统处理后，被分配给二级系统进行深入分析，包括 LIGO 成员机构、OSG、XSEDE、Einstein@Home 等。

2、打造便捷、高效的科学 workflows 系统

LIGO 的科学家通常需要组合不同领域、多个组织的复杂应用程序对海量数据进行查找、移动、分析、仿真及可视化等操作，这使得系统的易用性显得十分重要。LIGO 通过“飞马座”科学工作流管理系统 (Pegasus) 等管理工具来为科学家打造便捷易用的工作流管理系统，使得科学家可以专注于科学问题，不被网络基础设施的底层问题所困扰。

Pegasus 是由美国南加州大学开发的工作流管理系统，它支持应用程序在许多不同的环境计算中执行。Pegasus 通过自动地把抽象的工作流描述映射到分布式的执行环境中，将各个科学领域和实际运行环境联系起来。当 LIGO 将计算任务从内部的“LIGO 数据网格”向 OSG、XSEDE 等外部系统扩展时，Pegasus 提供可靠、可伸缩、高效的跨站点数据传输与计算支持，最终帮助 LIGO 的科学家通过基于 Web 的控制页面及工具箱即可轻松完成工作流监控与分析。在 LIGO 最终发现引力波的数据分析工作中，

Pegasus 帮助科学家完成了一个主要的工作流分析。

3、探索先进算法、提高数据分析效率

LIGO 需要分析的数据包括激光干涉仪引力波探测器输出的数据,还包括有关各种环境条件和引力波探测器自身状态的监测数据。从 2015 年 9 月 14 日探测器接收到引力波信号到 2016 年 2 月 11 日 LIGO 正式宣布发现引力波,共经历了近 5 个月的数据分析。因此除了强大的计算资源,更需要探索先进的算法来提升数据分析效率。在这方面,清华大学、剑桥大学等 LIGO 成员机构在探索机器学习算法在引力波天文学中的应用,包括识别引力波信号中的噪声、评估设备运行状态和分析引力波的来源等。

此外,还需要研究先进算法来突破现有研究方法的局限。科研界目前主要采用匹配滤波技术来搜寻引力波信号。匹配滤波要求对引力波波源建立合理的物理模型,根据模型产生成千上万的模板,然后用这些模板去匹配引力波数据中的信号,从而找到相关引力波信号。但在引力波探测中,大量波形是未知的,无法用匹配滤波器技术来分析。LIGO 所确认的引力波信号源于双黑洞并合事件,这是理论上知道得最清楚的引力波源,但对是否有其他引力波源产生的信号,目前仍然在对数据进行分析处理。

二、对我国引力波探测工程的启示

信息技术在 LIGO 探测引力波的工作中起到了极其重要的作用,可为我国引力波探测工程带来以下启示:

1、从整体上构建信息化支撑体系

作为大科学工程,LIGO 在顶层设计中把信息化支撑体系作为核心系统之一来构建。我国引力波探测工程应从整体上开展信息化支撑体系的规划与部署,从软硬件系统、协调制度等方面实现信息化系统与其他系统的有机结合,构建多样化、灵活的计算资源体系,以满足不同层次的需求,打通引力波探测工程与相关信息化资源之间的壁垒。

2、重视开发科学工作流系统,支持协同创新

为了扫除科学家在信息化平台上高效开展协同创新的障碍,LIGO 特别重视科学工作流系统的开发与应用。我国引力波探测工程应充分研究国内外现有科学工作流的关键技术,通过改进与优化,打造符合自身需求的科学工作流管理系统,有效降低科学家使用底层计算资源的门槛,提高计算资源的利用率,为跨领域、跨组织的大规模协同开发和交流合作提供便利,保障科研人员能够轻松、便捷地在信息化科研平台上开展协同创新。

3、将先进算法作为核心目标,引领未来关键技术

虽然 LIGO 已通过数据分析成功发现了引力波信号,但其分析效率仍待提高,且现有分析技术无法识别理论上未知的引力波,

因此更加先进、更加智能的数据分析算法将成为未来引力波探索的一个核心问题。建议我国引力波探测工程：（1）为开发先进算法提供专项支持；（2）将人工智能技术应用用于分析处理引力波大数据，发展更高效智能的引力波数据分析算法，增加识别理论上未知引力波的可能性；（3）开放引力波天文数据、举办挑战赛，吸引企业和公民科学家参与，利用群体智慧攻克难题。

[1] Gravitational Waves Detected 100 Years After Einstein's Prediction.

<https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20160211>

[2] A Second Robust Binary Black Hole Coalescence Observed.

<https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20160615>

[3] What is the LSC DataGrid?

<https://www.lsc-group.phys.uwm.edu/lscdatagrid/overview.html>

《科学》杂志：科学家利用卫星影像数据预测贫困

文章来源：中国科学院科技战略咨询研究院

8月19日，《科学》杂志发表了斯坦福大学研究团队关于《卫星影像和机器学习相结合预测贫困》研究成果文章[1]，通过将卫星数据与流畅的机器学习相结合，研发出了能准确地估计家庭消费与收入的方法。

发展中国家经济生活的可靠数据仍然非常稀缺而且也难以获得，但对于向研究和政策提供信息而言又十分重要。例如，世界银行的数据显示，非洲59个国家中有39个在2000年到2010年间仅完成了不到两次与贫困相关的人口调查，这些国家中有14个完全没有做过任何调查，而且大部分已经收集到的数据也永远不会公开。几十年来，研究人员一直都在使用其它替代数据集来测

度贫困，比如社交媒体、网络搜索查询和移动网络使用量等。

由斯坦福大学经济学家 Marshall Burke 率领的社会学家和计算机科学家研究团队对卫星日间图像进行了筛选，首先得到目标变量是已知的数据集，在这种情况下通常为人均收入。随后，在这些数据子集的基础上训练计算机，从而创建统计模型，能够预测其余数据中的隐藏变量。

该研究提出了一种准确、廉价、且可扩展的用于从高分辨率卫星图像中评估消费支出和资产财富的方法，即利用来自5个非洲国家（尼日利亚、坦桑尼亚、乌干达、马拉维和卢旺达）的调查和卫星数据，然后发

现了通过卷积神经网络如何被训练识别图像的功能,可以解释当地多达 75% 的经济结果。该方法仅需要公开可用的数据,可以改变追踪和定位发展中国家贫困的方式。这也说明了强大的机器学习方法可以如何被用

于只有有限训练数据的环境中,该方法在许多科学领域都有广泛的应用潜力。

[1] Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty.
<http://science.sciencemag.org/content/sci/353/6301/790.full.pdf>